

1845年创刊 132位诺贝尔奖得主撰稿 从爱迪生到比尔·盖茨都喜欢阅读

《科学美国人》享誉全球的科普杂志

环球科学

SCIENTIFIC
AMERICAN

《科学美国人》

独家授权

2007·6 www.sciam.cn

邮局订阅代号

80-498

甲烷： 火星与泰坦的 生命证据？

甲烷是生命活动的重要标志之一。科学家在火星和泰坦上都发现了它的存在，这是否意味着火星和泰坦上存在着生命？

唤醒植物人

癌症病因的最新讨论

为什么无法抗拒食物的诱惑

怎样把房子变成家

尘封 3000 万年的南美动物王国

终结大停电的智能电网

自制量子橡皮擦

让声音定向传送

ISSN 1673-5153



定价：12.00元
港币：25.00元
美元：4.50元

SCIENTIFIC AMERICAN 国内统一刊号：CN11-5480/N 国际邮发代号：ISSN 1673-5153



2007中国产业投资大会

Industry Investment Conference of China

中国·上海国际会议中心

对接传统产业 共赢创投价值

主办：上海国际金融学院 聚网

首席门户网络合作伙伴：新浪财经 腾讯网

独家财经门户合作伙伴：和讯网

协办媒体：环球科学杂志社(《科学美国人》中文版)

支持媒体：全球商业经典 投资有道 聚焦总裁 商界
华东科技 中国商人 经理人 世界高尔夫
浙商 北青网 中国雅虎 FT中文网 网易
金融时报 上海证券报 每日经济新闻

会议日程：9月6日 高端论坛

上午：中国优秀企业IPO之路

下午：企业PRE-IPO的运营和管理

9月7日 创投对接

上午：路演（包括投资机构、项目方）

下午：一对一洽谈会

项目路演洽谈

TOM

TEL : +86-21-64514279

Email : tom@365ju.com

赞助与演讲

王婷

TEL : +86-21-64836797

Email : freeheart0625@sohu.com

参会与合作

徐杰

TEL : +86-21-64827747

Email : xujie6017@yahoo.com.cn

官方网站 : <http://www.365ju.com>

会议网址 : <http://365ju.com/0706/index.html>



SCIENTIFIC AMERICAN 环球科学

《科学美国人》独家授权

1845年创刊
132位诺贝尔奖得主撰稿
从爱迪生到比尔·盖茨都喜欢阅读

【诚邀天下英才】
详情请登录 www.sciam.cn

最后 **100** 套!

《环球科学2006年合订本》销售倒计时……

请继续订阅2007年《环球科学》:

1. 到邮局订阅, 邮局订阅代号: 80-498, 可破季订阅。

2. 向《环球科学》杂志社订阅

邮局汇款(汇款时请注明您的姓名、通信地址、邮编、电话和订阅起止时间)

汇款地址: 重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204

收款单位: 环球科学杂志社 邮编: 400013

3. 网上订阅 www.itbook.com.cn www.gotoread.com

读者服务热线: 023-63658888-16048

E-mail: advice@sciam.cn cnsciam@gmail.com

广告热线: 023-63658997

邮局订阅代号

80-498

月刊/大16开/全彩印刷/单价12元
全年订价144元/半年订价72元
www.sciam.cn

P14 封面故事 COVER STORY

甲烷是生命活动的重要标志，地球上 90% 的甲烷产生于生命的代谢活动。科学家们在荒凉的火星和寒冷的土卫六泰坦上相继发现了甲烷，一个让人兴奋不安的问题等待我们解答：地球的这两个邻居上，究竟有没有生命的存在？

甲烷： 火星与泰坦 的生命证据？

撰文/苏希尔·K·阿特雷亚 (Sushil K. Atreya)

24 理性追寻外星生命 撰文/林清

25 泰坦探测简史

26 火星探测简史

医学·健康 Medicine & Health

28 唤醒植物人

撰文/史蒂文·洛雷 (Steven Laureys)

利用最新的大脑成像技术，科学家们发现了植物人意识的秘密。虽然无法对外界作出回应，但不少植物人的大脑还没有完全丧失意识，能对熟悉的声音作出反应。唤醒植物人的战役，由此打响。

34 癌症病因的最新讨论

撰文/彼得·迪斯贝格 (Peter Duesberg)

这是一个与主流观点针锋相对的理论，足以颠覆我们对癌症的认知：染色体混乱才是癌症的根源，一个甚至多个基因突变根本不足以导致细胞的恶性转化。最具争议和传奇色彩的生物学家迪斯贝格，曾因最早研究癌基因而被誉为“癌症研究领域的哥白尼”，为何要质疑癌基因，坚持反潮流的癌症研究？

42 用眼睛倾听

撰文/克里斯托夫·凯泽 (Christoph Kayser)

眼睛的作用只是帮助我们看清楚周围的世界？耳朵的功能只是帮助我们听到各种不同的声音？为了弄清楚这些问题，科学家们进行了大量试验，最后证实我们的五官本来就是相通的。

46 为什么无法抗拒食物的诱惑

撰文/奥利弗·格里姆 (Oliver Grimm)

你是否无法抵挡食物的诱惑，无节制地吃下了太多的东西？你可知这种贪吃已是“瘾君子”的另类表现？科学家们的研究发现，对食物和上瘾物质的刺激，大脑的处理过程是相同的。

心理学 Psychology

50 怎样把房子变成家

撰文/安特耶·弗拉德 (Antje Flade)

家和房子的区别是什么？什么样的房子更能满足我们的情感需要？哪些建筑特征更能加强我们的幸福感？看心理学家如何找到答案。

古生物学 Paleontology

54 尘封3000万年的南美动物王国

撰文/约翰·J·弗林 (John J. Flynn)

安德烈·R·怀斯 (André R. Wyss)

雷纳尔多·沙里耶 (Reynaldo Charrier)

在南美安第斯山脉的岩层中，尘封了一个3,000多万年的哺乳动物王国。这些动物在今天已是闻所未闻，它们的种种故事也成为缥缈的谜题。科学家们无意发现的化石，如同一把古老而神奇的钥匙，将再现一个鲜活的史前动物乐园。

信息技术 Information Technology

62 碳纳米网刷新消费电子

撰文/乔治·格鲁纳 (George Gruner)

电子产品的“碳时代”即将到来。碳纳米管体积小、导电性能好，而且透明、可以任意弯曲，是新锐电子产品梦寐以求的材料。碳纳米管随机编织成的碳纳米网，不但降低了生产的难度，还提高了容错能力。

能源 Energy

70 终结大停电的智能电网

撰文/马苏德·阿明 (Massoud Amin)

菲利普·F·舍韦 (Phillip F. Schewe)

一根输电线出现故障,就可能引发连锁反应,让一大片地区陷入黑暗。新一代智能电网能够实时监测电网的运行状况,及时发现隐患并提出预防措施。一旦故障发生,智能电网也能化整为零,切分出若干独立运转的子网,隔离故障电路,将大停电事故扼杀在萌芽状态中。

科学DIY Science DIY

78 自制量子橡皮擦

撰文/拉赫尔·希尔默 (Rachel Hillmer)

保罗·奎亚特 (Paul Kwiat)

把一只猫从树的左侧或右侧经过的痕迹抹去,这只猫就是从树的两侧同时经过的。听起来像天方夜谭,却正是量子世界的诡异之处。利用一些唾手可得的小装置,你也可以自己动手,制作一个量子橡皮擦,把已发生事件的信息抹去,影响过去发生的事情。

与科学家同行 Insights

84 为最后的美洲人请命

撰文/克劳迪奥·安杰洛 (Claudio Angelo)

86 延续幸福感的良药

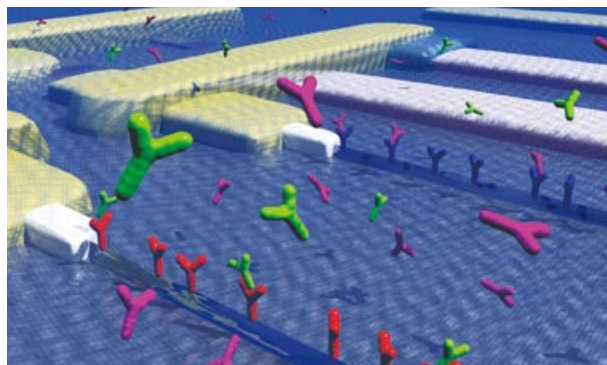
撰文/玛丽娜·克拉科夫斯基 (Marina Krakovsky)

技术解剖 Working Knowledge

88 让声音定向传送

撰文/马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

前沿扫描 News Scan



05 更听话的纳米“积木”

06 给微型泵一颗“心脏”

07 污染导致华山干旱

08 掌上数字电视

09 阿秒激光追查电子行踪

10 “沉默突变”不沉默

11 更简单地使用手机

12 中世纪的准晶图案/增强记忆的芳香美梦

13 不反光的表面涂层/老鼠的决策判断力/超长距离量子纠缠/数据总量增长加速



P28 唤醒植物人



P46 为什么无法抗拒食物的诱惑



P50 怎样把房子变成家



P54 尘封3000万年的南美动物王国

专栏 Column

怀疑论者 Skeptic

90 布什的错误和肯尼迪的失误

撰文/迈克尔·舍默 (Michael Shermer)

反重力思考 Anti Gravity

91 有啤酒的美好世界

撰文/史蒂夫·米尔斯 (Steve Mirsky)

专家解答 Ask the Experts

92 宇宙在往哪里膨胀

92 什么是“垃圾”DNA, 它有什么作用

经典回眸 50,100&150 Years Ago

93 月亮新招◎牛奶计划◎气球问题

反传统主义的科学

本期《环球科学》的封面故事，讨论了一个“老话题”：火星和泰坦上，究竟有没有生命存在？或许正如前人所谈，在浩瀚的宇宙中，人类如同置身荒原的孤儿，很希望知道自己从哪里来，归宿又在何处。因此，从我们的祖先仰望星空，传颂着嫦娥或宙斯的故事时起，人类就一直没有停止对地外生命的探索，希望借此寻找到这个“终极问题”的答案。也正是因为如此，寻找地外生命一直是历久弥新的科学热点，任何新的突破都会让人激动不已。

这一次，科学家们提出的新证据是，在这两颗星球上存在着甲烷——在地球上，超过 90% 的甲烷来自于生命体的活动。分析火星和泰坦上甲烷的来源，就显得至关重要了。

看到这里，我不免突发奇想：如果有了“太空电梯”，科学家们能够前往这两个星球探测，获得答案就容易多了。

这里说的“太空电梯”，是科学家们关于太空探索的最富想像力的一项计划。

时间回到 2005 年 9 月，美国科学家提出的“太空电梯”计划被媒体争相报道。这个计划说起来似乎非常简单：从太空中一颗与地球同步的人造卫星上，垂下一根长度达数万千米的线缆，下端固定在地球赤道附近的海上浮岛平台上。这个计划一旦实现，我们就可以乘坐太空电梯遨游太空了。

“乘电梯去太空”，这个想法是如此让人热血沸腾，以至于在很长一段时间，我周围的朋友们聊天时，总也避不开这个话题。但意大利科学家尼古拉不久就提出疑虑，认为科学家用来制造线缆的碳纳米管强度不够，无法聚合成带状或纤维，不可能支撑长达数万千米的太空电梯的重量，“太空电梯”似乎又还原为“梦想”了。

幸好，本期《环球科学》的文章似乎又让人看到了实现这个梦想的新希望。《碳纳米网刷新消费电子》中，科学家们用单根碳纳米管随机编织成碳纳米网，不但保留了单根碳纳米管的优点，还使这种材料变得更为坚固，容错性能也更好，生产成本也大大降低了。虽然我们仍无法断言这个进步将如何推进“太空电梯”的实现，但它将在电子领域产生重要的影响，却是毋庸置疑的。

外星生命和太空电梯最初都是从科幻故事中走出来，并不为当时的科学主流所接受。本期的另外一篇文章《癌症病因的最新讨论》，也出于反传统主义科学家的手笔。作者迪斯贝格可谓医学界最特立独行、最具争议的科学家。上个世纪 80 年代，他提出让人瞠目结舌的理论：导致艾滋病的元凶，并不是 HIV 病毒，而是其他一些因素，比如应用药物、环境、营养不良等原因造成的。

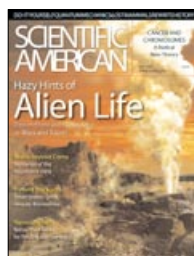
原本，迪斯贝格在科学界备受尊重，获得诺贝尔奖的呼声非常高。但这个“比世上任何人都更了解逆转录病毒”的人，却提出这样离经叛道的理论，成为“科学界的混乱制造者”。在此后的很长一段时间，迪斯贝格都是众矢之的，不再被邀请参加科学研讨会，而他出席的许多场合，也被要求保证避免谈艾滋病。他的研究经费也一度中断。但迪斯贝格并没有因此放弃自己的研究。到本世纪初，一些科学家开始重新重视迪斯贝格的理论，并出现了一些支持他的证据和言论。

但显然，迪斯贝格制造的“麻烦”并不仅限于艾滋病领域。身为最早发现癌基因的科学家，他率先对癌基因学说提出质疑，认为染色体混乱更可能是癌症的成因。这一理论几乎颠覆了我们对癌症成因的认知，引起的震撼就可想而知了。

科学总是在提出、质疑、证明的轮回中不断前进，现在就断言谁是谁非显然为时过早。不过，像迪斯贝格这样，不断“用锯子锯掉自己和同事坐着的树枝”，挑战主流科学界，甚至不断挑战自己的精神，应该是本期杂志带给我们最宝贵的礼物。

执行副主编

郭涛



SCIENTIFIC AMERICAN
Established 1845

Editor in Chief: John Rennie
Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Steve Mirsky, George Musser, Christine Soares
NEWS Editor: Philip M. Yam Mark Fischetti
Contributing Editors: Marguerite Holloway, Philip E. Ross, Michael Shermer, Sarah Simpson
Art Director: Edward Bell
Vice President and Publisher: Bruce Brandfon
Chairman Emeritus: John J. Hanley
Chairman: Brian Napack
President and Chief Executive Officer: Gretchen G. Teichgraber
Vice President and Managing Director, International: Dean Sanderson
Vice President: Frances Newburg
“SCIENTIFIC AMERICAN” is a registered trade name owned by SCIENTIFIC AMERICAN, Inc., New York; it is used under license by PCW.

顾问CONSULTANT

周光召(以下按姓氏笔画)
艾国祥 李国杰 张玉台 张厚粲 赵忠贤 钟南山
姚期智 欧阳自远 郭光灿 焦洪波

2007年6月5日出版 总第18期

主管Authorities in Charge

中国科学技术协会
China Association For Science and Technology
主办Sponsor
中国科技报研究会CSSSTP

社长/主编Editor-in-chief

陈宗周Chen Zongzhou
副社长/副主编Senior Editor
李永明Li Yongming/李林Li Lin/王寿全Wang Shouquan
执行副主编Executive Subeditor
郭涛Guo Tao

编辑出版PUBLICATION

环球科学杂志社GLOBAL SCIENCE MAGAZINES
社址Address: 北京清华大学同方大厦B楼503室
电话Tel: 010-62770266
重庆运营中心Chongqing Operation Center
重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204
读者热线Tel: 023-63658888-16034

编辑部EDITORIAL DEPARTMENT

编辑Editor
虞骏Yu Jun/褚波Chu Bo/孙婷Sun Ting/
窝兰霞Wo Lanxia(实习)/刘红燕Liu Hongyan(实习)
林渝南Lin Yunan(实习)
美术编辑Art Editor
陈松涛Chen Songtao
电话Tel: 023-63658852 / 010-62770266
E-mail: letter@sciam.cn

市场总监Marketing Director

刘芳Liu Fang
E-mail: liufang300@163.com

网站总监Web Director

栾璞Luan Pu
网址Website: http://www.sciam.cn

读者服务Reader Service Department

张春Zhang Chun
服务热线Tel: 023-63658888-16048
E-mail: advice@sciam.cn

广告ADVERTISING DEPARTMENT

广告总代理Advertising General Agent
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
广告总监Advertising Director
辰华Chen Hua
广告热线Tel: 010-62780435 023-63658888-13096
广告信箱E-mail: adv@sciam.cn

发行CIRCULATION DEPARTMENT

发行总经销Chief Distributor
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
发行总监Circulation Director
赵晓岚Zhao Xiaolan/吴永强Wu Yongqiang
发行经理Circulation Manager
谢磊Xie Lei
发行热线Tel: 023-63658888-12115
传真FAX: 023-63658769

印刷: 重庆建新印务有限责任公司

如发现本刊缺页、装订错误和损坏等质量问题，请在当月与本刊读者服务部联系调换(请将坏书寄回)。

2006年1月创刊·每月5日出版

国际标准刊号: ISSN 1673-5153

国内统一刊号: CN11-5480/N

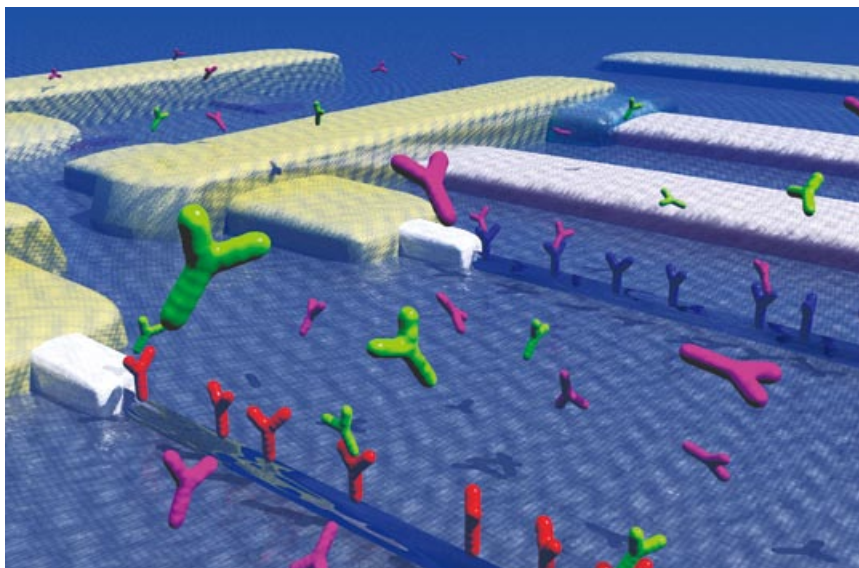
邮局订代码: 80-498

《环球科学》杂志，内容系科学美国人杂志社独家授权。版权2007属科学美国人杂志社、环球科学杂志社和重庆电脑报经营公司，未经书面许可，本刊任何部分均不得以机械、拍照、电子或录音形式翻印，也不允许存储于检索系统，或通过转载及其他复制方式提供给公众或私人使用。

更听话的纳米“积木”

新技术让科学家拥有了更多构建纳米器件的工具。

撰文/查尔斯·Q·蔡 (Charles Q. Choi)



■附着在蚀刻纳米线（蓝色线条）上的抗体（蓝色和红色的Y形物体）可以探测溶液中的其他抗体，实现快速诊断。图中的长方形物体是电接点。

纳米颗粒是研究人员很感兴趣的一种结构模块，同时具备了微小原子和大块常规材料的特性。然而，它们通常呈球形，很难装配成固定的结构，只能像水果店里的桔子一样堆在一起。最近，在制造和使用这些过去难以操纵的纳米结构材料方面，研究人员取得了巨大的进展。

在2007年1月19日出版的《自然》杂志上，美国麻省理工学院的材料科学家弗朗切斯科·斯泰拉奇 (Francesco Stellacci) 和同事们介绍了一种方法，能够使纳米颗粒变得像链条上的链环一样，彼此勾住，形成一串珠链。这种方法利用了所谓的“毛球定理” (hairy ball theorem)：对于一个表面覆盖着毛发的球体来说，如果想要抚平球上的所有毛发，必定会有两束毛发笔直地竖立着，分别位于相对的两个极点上（想象一下，如果沿着纬度线方向抚平地球仪上的毛发，最后两极处的毛发都会竖立起来）。

研究人员在金纳米颗粒的表面，覆盖了两种含硫分子构成的“毛发”。这些毛发竖立的地方，就是金纳米颗粒表面的不稳定瑕

疵——这里的毛发很容易被其他物质取代。斯泰拉奇小组用化学物质替换了这些毛发，这些化学物质能像手柄一样，让纳米颗粒彼此连接起来。

美国斯坦福大学的材料科学家崔屹指出：“这让纳米颗粒变得像个原子——准确地说，是一个有两个化学键的二价原子。这样，我们就能用它们制作一些真正有趣的结构，就像将原子组合成分子一样。”斯泰拉奇介绍说，他的小组正在探索能够让每个纳米颗粒具有四个“化学键”的方法。

这些纳米结构能够和纳米线连接，制造先进的电子器件。研究人员可以用两种方法制造纳米线：自下而上地装配或自上而下地蚀刻。前者要把每一个细微的、松散的、通常杂乱分散的原料整合成可用的电气设备，面临的技术挑战可想而知；相对而言，自上而下的方法倒可以运用许多传统工业技术，如“类似钢锯的设备”，美国耶鲁大学的生物医学工程师埃里克·斯特恩 (Eric Stern) 解释说。传统技术制出的纳米线表面粗糙，影响了电气性能，斯特恩等人则克服了这个困难。

分子载体

美国加利福尼亚大学河滨分校的路德维格·巴特尔斯 (Ludwig Bartels) 等人，首次设计出了一种能够在平坦表面上直线移动分子。现在，研究人员可以用这些分子来拖运“货物”了。他们借助有机化合物蒽醌 (anthraquinone) 来搬运和释放两个二氧化碳分子，就像一个人一手提了一个购物袋一样。掌握这种传送分子和原子的方法，工程师就能更加方便地运送原料，装配纳米设备。

接下来，研究人员打算让分子载体学会转弯，能够操纵它们的货物，或者发射光子表明自己的位置。巴特尔斯介绍说，他的小组也许还会“为它们添加能够感受光刺激的‘肌肉组织’”。

在 2007 年 2 月 1 日出版的《自然》杂志上，耶鲁大学的研究人员介绍了一种制造高质量光滑表面纳米线的蚀刻方法。这种方法的关键在于使用了一种名为 TMAH（四甲基氢氧化铵）的铵盐。在当前采用过的所有溶剂之中，TMAH 蚀刻硅的速度最缓慢、过程最平稳。耶鲁大学的生物医学工程师塔里克·法赫米（Tarek Fahmy）补充说，这项新技术与标准的半导体工业流程兼容，有助于将纳米线集成到电子器件之中。

事实证明，这些纳米线对环境因素非常敏感，与分子接触就能引起电压变化。它们能够感应细胞释放的酸性物质，从而在 10 秒钟内，探测到 T 细胞受外界物质的刺激而

作出的活化反应。相比之下，常规的标记抗体化验方法通常需要几分钟乃至几个小时，才能查出这样的活化反应。研究人员还发现，只要致癌分子的密度高于每立方毫米 60 个，附着抗体的纳米线就能检测到这种分子，灵敏度足以与目前最先进的传感器媲美。

美国约翰霍普金斯大学的免疫学家乔纳森·施内克（Jonathan Schneck）说：“有了用这类纳米线制成的设备，我们就能在急救室、办公室、战场等任何场合，现场为患者进行快速诊断。就提高设备反应速度而言，这种纳米线是我见过的最具潜力的工具。”

（译 / 肖伟科 校 / 虞骏）

生物医学

给微型泵一颗“心脏”

无需电池，用心肌细胞直接给微型泵提供动力。

撰文 / 蒂姆·霍尔尼亚克（Tim Hornyak）

开发一种能够驱动微量流体的微型仪器，是生物工程师们渴望实现的梦想。在喷墨打印机上，微流体装置（microfluidic device）已经得到了广泛应用，也让科学家看到了这种装置在医学领域的应用前景：进行血液检查时，只需要极少的样品，就能快速高效地得到检查结果。除此之外，微流体装置还有不少潜在应用，比如制造芯片实验室（lab-on-a-chip），在芯片上直接进行化学分析；设计制造重要的人造器官；做成人体内的微型“药房”，在需要的时候，释放药物为病人治病等。不过，在移植微流体装置时，科学家们必须解决一个问题：如何为装置运转提供动力。通常，微流体装置依靠外部提供的电力和大型传动装置，驱动流体通过微型管道。现在，一个研究团队提出了一个开创性的概念：用鲜活的心脏为微流体装置提供动力。

这个来自日本的研究团队利用大鼠的心肌细胞，制作了一种直径为 5 毫米的球状微型泵，它不需要人为提供任何动力、导线或者刺激，就能不断地搏动。微型泵的构造很

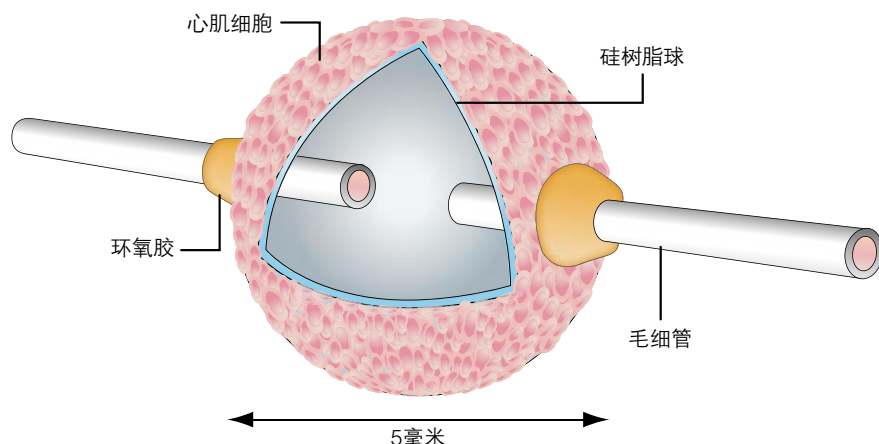
简单，主要部件是一个柔软的中空硅树脂球，在球的两侧，有两条直径 400 微米的毛细管道。从结构上看，这一构造很像蚯蚓的单室心脏。大鼠的心肌细胞覆盖在微型泵的表面，当它搏动时，会带动泵同时搏动，这样就能驱使流体进入管道和硅树脂球。心肌细胞周围是含有充足养分的培养基，细胞吸收养分后，就会源源不断地产生动力。

这项研究的首席科学家，日本东京大学的北森武彦（Takehiko Kitamori）教授说：“这类微型装置未来将在医学、临床以及生物学等众多领域得到广泛应用。例如，它可以把药物注射系统安装在手表上，用于监控和输送胰岛素之类的药物。”

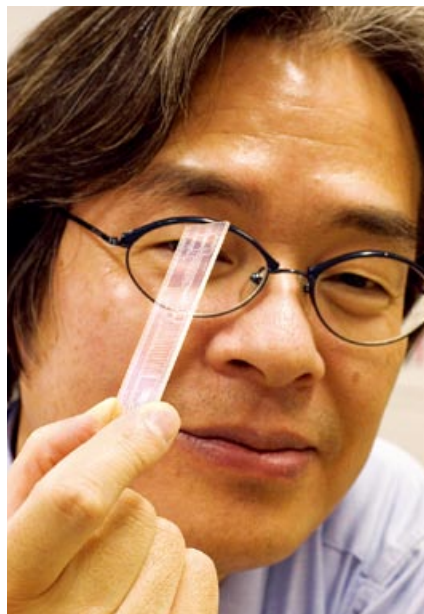
日本东京女子医科大学的冈野光夫（Teruo Okano）是北森的合作者，曾开发出一种细胞板，可以接合在虚弱的心脏上，帮助心脏跳动。他们花了 4 年时间研制微型泵。这项技术的关键之处在于，如何用大鼠心肌细胞制作一个球体。首先，他们在心肌细胞的培养皿上覆盖了一层聚合物，心肌细胞对这种聚合物很敏感，一旦温度降低，聚合物就会让细胞“肩并肩”

环球科学小词典

芯片实验室：随着微加工技术的发展，科学家能够把生物和化学等领域中涉及的样品制备、反应、分离、检测等基本操作单元，集成到一块几厘米见方（甚至更小）的芯片上，迅速完成原本需要整个实验室才能实现的诊断分析工作，因此这样的芯片被称为芯片实验室。



■微型泵：日本东京大学的北森武彦发明了一种“芯片实验室”（右图），实验室的运转由一个微型泵推动。上图便是一个微型泵的示意图，这种泵以一个柔软的中空硅树脂球为基础，球的表面连接着一层大鼠心肌细胞。



地排列，形成单细胞层。接着，他们又用单细胞层“包裹”硅树脂球。（这种硅树脂球的制作方法如下：先用硅树脂覆盖糖球的表面，待树脂凝固后，再用水溶解糖球，这样就会形成中空的硅树脂球。）树脂球表面覆盖了纤连蛋白（fibronectin，一种参与组织修复和血液凝固的黏性糖蛋白），因此只需要1个小时，心肌细胞就会黏附到球上。最后，用环氧胶（Epoxy glue）将两根毛细管粘在球上就算大功告成。

虽然研究人员还不清楚为什么一个心肌细胞跳动，其余的细胞也会跟着同时跳动，但是结果才是最重要的：在一次对微型泵的测试中，心肌细胞

的跳动始终协调一致。在长达5天的时间里，研究小组一直在观察聚苯乙烯示踪粒子穿过微型泵的情况，流速仅比研究人员预期的速度稍低一点。不过在替换细胞培养基时，心肌细胞跳动速率会起伏不定，因此在未来的实际应用中，细胞必须有一个稳定的生存环境。

北森还想升级微型泵：在原来的基础上添加细胞层和细胞阀门，使泵的构造从蚯蚓的单室心脏“进化”成鱼类心脏，让它更有力、更成熟。拥有多个空腔的微型泵仍然可以和硅树脂球融合在一起，不过树脂球的构造要做相应改变。北森说：“微型泵将化学能转化为机械

能，它将在无法使用电能的领域大显身手。”北森的另一个目标，是设计基于芯片的模型循环系统，可以直观地检查心血管疾病。

北森预言，未来的人类都会拥有监测健康的芯片实验室，小小的芯片将能发挥数十种功能。维持芯片实验室运转的泵将由人类自身心肌细胞构成，因而不会引发免疫排斥反应。此外，每个人都可以在身上安置多个微型泵。当然，这些“微型心脏”不会代替真正的人类心脏。北森笑着说：“人的一生只需要一颗心脏，因为心肌非常强壮，这也是我们用心肌细胞制造流体控制系统的原因。”  （译 / 褚波 校 / 虞骏）

气象

污染导致华山干旱

撰文/戴维·别洛（David Biello）

煤炭燃烧产生的微小颗粒，似乎正在影响华山上冰霜雨雪的形成。随着大气中悬浮颗粒的增加，能够相互碰撞形成雨滴的小水珠越来越少。大气科学家研究了位于华山之巅的气象观测站过去50年来的记录。他们发现，在海拔两千多米的山顶，平均能见度从大约30千米下降到了10千米，降雨量也比

相邻地区下降了17%。这一发现解释了人们在加拿大、南非和以色列等地广泛观测到的类似现象——高地的降水量比周边的低洼地要少。污染不仅遮挡了人们的视线，还阻碍了降雨，减少了河川的水源。研究人员在2007年3月9日的《科学》杂志上公布了他们的研究。 

（译 / 刘旻 校 / 窝兰霞 虞骏）



■烟雾不仅遮蔽了华山上的风景，还阻碍了降雨。

掌上数字电视

高清电视产业计划进军移动视频领域。

撰文/迈克尔·安东诺夫 (Michael Antonoff)



■ 移动视频系统，比如Verizon无线通讯公司的V Cast，可能会面临来自广播公司的竞争。

高清晰度电视越做越大，甚至占满了家里的整面墙壁；另一方面，小屏幕也迅速普及，成了手机、掌上电脑和便携式媒体播放器的标准配置。继语音电话和文本短信之后，为移动用户提供视频服务早已被电信行业视为下一个机遇，无线运营商也一直在升级系统，试图打造3G高速网络，满足视频服务的要求。现在，多亏新一代的传输标准，数字电视业也有意涉足这一领域，他们在视频传播方面有着更为丰富的经验。

目前，移动视频领域似乎还是一块有待开发的处女地。福里斯特调研公司(Forrester Research，一家技术及市场调查公司)2006年的调查结果显示，只有1%~3%的用户表示关注手持式视频播放设备。价格是最主要的障碍，美国Verizon无线通讯公司的用户每月就要为所谓的V Cast服务额外支付15美元；服务质量也困扰着常规的无线蜂窝系统(cellular system)，因为视频会吞噬带宽：过多用户同时在线，就会导致帧频下降。这个问题迫使蜂窝服务提供商建造了功率更大的发射器，还占用了额外的频率。

在这方面，数字电视台也许拥有一些优势：每个电视台都有6兆赫的频宽用于发射数字节目，广播公司可以在这一频段传送一个高清晰频道，外带至少一个低分辨率的频

道；商业电视是免费的，用户对价格的忧虑将不复存在。

如何让政府授权的数字电视标准适用于移动应用领域，是广播公司面临的一大挑战。美国先进电视系统委员会(ASTC)规定，美国的广播天线必须以VSB制式发射信号。但VSB信号会在建筑物和其他障碍物之间反射，同一信号分散成多路，将大大降低无线接收的效果。固定式接收器中的复杂电子设备可以应付多路接收问题，然而在急速行驶的汽车上接收电视信号却成了一大难题。

工程师提出了一种解决办法，他们改进了VSB制式，推出了所谓的A-VSB制式。这种制式主要依赖两种关键技术。一是增加了附加参考排序数据(SRS)，它能帮助接收器锁定信号；二是采用了增强编码(Turbo Coding)，这种数学技术能够将冗余纠错数据层层打包在一起，接收器丢失了一个数据位，会有三四个数据位排着队来顶替它。A-VSB没有特别指定分辨率，不过工程师在实验测试中采用的一直是320×240像素的图像。这种分辨率足以在笔记本电脑的屏幕上显示出清晰度中等偏上的画面。

2007年1月，在美国拉斯维加斯举行的CES大展上，三星公司、罗德与施瓦茨公司(Rohde & Schwarz，德国的一家电视传送设备制造)和辛克莱广播公司设在当地的广播站联合演示了A-VSB制式。演示小组在一辆公共汽车上安装了各种各样的电视机，还有一些手持式电视的原型。即使汽车的时速达到50英里(约合80千米)，用A-VSB制式发送的图像也没有出现接收中断，而汽车上同时接收的其他数字电视节目总是一再跳帧。

用A-VSB制式发送电视信号并非没有代价。在演示过程中，参考排序数据和增强编码在每秒19.39MB的数字通讯数据流中大约占用了28%。对于广播公司而言，这意味着盗用

移动卫星电视

除了广播公司和移动通信公司以外，卫星电视及广播运营商也准备进军移动视频领域。在2007年CES大展上，回声星(EchoStar)通信公司推出了MobileDISH系统，这套车载系统用置于车顶的特殊天线接收卫星电视。卫星广播运营商天狼星(Sirius)公司和XM公司要为用户提供视频服务的构想已经谈论了好几年。一种专为汽车后座上的孩子们准备的视频服务也许很快就可以使用了，道奇公司2008年的新款Magnum系列车型就内置了一套可以收看视频节目的天狼星卫星广播设备。

在拉斯维加斯的CES大展上，XM公司演示了利用现有的卫星和地面中继站，将视频传送到汽车上的技术。XM公司发言人戴维·巴特勒(David Butler)也承认面临挑战，他说：“这套系统非常昂贵，而且占用了相当大的带宽。”

了其他节目的信号流量带宽，可能会降低高清晰频道的画质。

美国三星信息系统公司政府及公共事务副总裁约翰·戈弗雷（John Godfrey）说，由 ATSC 领导的实地测试会在今年春天展开。他相信投放给

广播公司用于实现 A-VSB 制式的资金会有所增加。一份完善的移动电视标准也将在 2008 年，随着一批拥有电视播放功能的手机或媒体播放器的首次展示而出台。

辛克莱广播公司的一位官员表

示，很可能将为手机电视准备专门的节目，也可能是当地的交通播报，让你能够更快回到家里，舒舒服服地收看下一集《迷失》（美国目前流行的一部电视剧集）。SA

（译 / 耿小兵 校 / 刘红燕 虞骏）

物理学

阿秒激光追查电子行踪

科学家们观察到了由量子隧穿效应产生的电离现象。

撰文/亚历山大·赫尔曼斯（Alexander Hellemans）

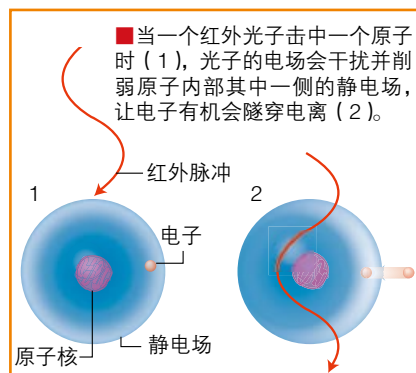
一般来说，要想脱离原子核的束缚，带负电荷的电子需要吸收一个高能光子，比如紫外线光子或 X 射线光子。这样，电子就获得了足够高的激发能，可以克服带正电荷的原子核对它的静电引力而逃离束缚，这一过程被称为“电离”（ionization）。现在，德国和荷兰的一个联合研究小组首次找到了直接证据，证明存在着另一种电离机制——激光脉冲的强电场可以暂时削弱静电引力设下的牢笼，让电子可以通过量子隧穿效应（quantum-mechanically tunnel）逃离原子核。

现供职于俄罗斯莫斯科列别杰夫物理研究所（Lebedev Physics Institute）的列昂尼德·克尔德什（Leonid Keldysh），早在 1964 年就预言了这一效应。实验也已经证明，这样的特殊电离过程确实可以发生。但是，只有等到持续时间仅有几百阿秒（阿秒是百亿亿分之一秒，即 10^{-18} 秒）的激光脉冲问世之后，物理学家才有机会观察这种现象。阿秒激光脉冲使我们有能力探测原子和分子中电子的运行，这一技术经过改进之后，还能帮助我们追查电子的行踪，比如追踪化学反应中电子的运动。

马普量子光学研究所（位于德国

加兴）的费伦茨·克劳斯（Ferenc Krausz）和他的研究小组，在 2007 年 4 月 5 日的《自然》杂志上描述了他们的电离实验。这个研究小组以一团氦原子气体为靶，先用一个持续 250 阿秒的紫外激光脉冲将一个电子稍稍推离原子核。几乎与此同时，这些物理学家又发射了一个持续 5,000 阿秒的红外激光脉冲，这束激光中的电场只来得及振荡几个周期。电场削弱了静电力，使稍稍“松绑”的电子能够产生隧穿——就像拥有量子特性的粒子遇到一个较窄的势垒（相当于一堵薄墙），会突然穿墙而过一样。研究人员逐步增加了紫外和红外激光脉冲的间隔时间，结果发现，氦离子的产量也在同步增长。显而易见，当红外激光脉冲的电场达到最强时，离子的产生率也最大。

克尔德什的强电场电离理论早已被许多其他理论所引用，连克劳斯都承认，这个结果“并不特别令人惊讶”。不过，加拿大国家研究委员会（位于渥太华）的物理学家保罗·科克姆（Paul Corkum）评价说，严格意义上讲，“这个小组已经开辟了一条测量电子动态的全新途径”。这项技术也许还能探测原子中电子之间的能量交换过程，这一过程至今仍不为人们所知。



例如，克劳斯提到了原子中的“能量重组”（shake up）过程。当一个高能 X 射线光子从靠近原子核的地方打出一个电子时，这种过程就会发生。那个电子在飞离原子核的过程中，会将自己的一部分能量传递给另一个电子，于是第二个电子也被激发，移动到离原子核更远的地方。因此，在第一个电子吸收 X 射线光子被电离，到第二个电子被激发之间，也许存在着一个小小的延迟。克劳斯指出，这个延迟“可能只有短短 50 阿秒，还没有人知道确切的数值”。他解释说，时间延迟的长短其实并不重要，关键在于这个延迟到底存不存在。如果延迟存在，那就意味着第二个电子是从第一个电子那里得到能量，而不是碰巧同时被那个 X 射线光子激发的。

克劳斯宣称，目前他已经实现了持续 100 阿秒的激光脉冲，因此也许很快就能解开这一谜团。随着激光技术的进步，其他问题也必将在未来几年内（甚至是未来几阿秒内）得到解决。SA （翻译 / 王栋 校 / 虞骏）

“沉默突变”不沉默

传统观点认为同义突变不会对蛋白产生影响，事实并非如此。

撰文/克里斯廷·索亚雷斯 (Christine Soares)



■每个三联密码子代表一个特异的氨基酸。最新的发现认为，密码子的改变对机体的影响比以往认为的更加严重。

任何一个外交官员都可证明：会谈时，遣词造句上的细微差异就会影响沟通的成败。而在人体中，细胞的“语言”要比人类语言严谨得多，最近的一项研究结果便是这一结论的最好证明。美国国家癌症研究所 (NCI) 的科学家发现了一种人类蛋白，它们拥有两种截然不同的结构，取决于编码该蛋白的基因上出现的一个极其细微的变化，而传统观点认为，这种变化原本不应该体现在蛋白上。他们的发现解释了癌症患者为什么会对化疗作出不同的反应，也对“沉默突变” (silent mutation) 这一概念提出了新的疑问。

沙瓦·金奇-萨尔法蒂 (Chava Kimchi-Sarfaty) 和迈克尔·M·戈特斯曼 (Michael M. Gottesman) 仔细检查了一个被称为 MDR1 的基因，该基因与肿瘤细胞的多种耐药性有关。他们特别研究了一种名为“单核苷酸多态性” (Single-Nucleotide Polymorphism, SNP) 的突变类型。这类基因突变有时并不会扰乱蛋白质的氨基酸序列，因此科学家们认为，它们对最终生成的蛋白质也不会产生影响。然而，在对癌症患者进行研究时，科

学家发现 SNP 变异出现的频率很高，有时似乎会影响患者对药物的反应。金奇-萨尔法蒂说：“目前有很多相关的研究报告，但结论常常彼此矛盾，这引起了我们的注意，并开始了这方面的探索。”

MDR1 基因编码的蛋白质叫做 P-糖蛋白 (P-glycoprotein)，是细胞膜上的蛋白质泵，可以将化疗药物泵出肿瘤细胞。NCI 科学家的研究主要集中在 3 种特定的同义突变 (synonymous mutation) 上。他们将含有不同 SNP 变异的 MDR1 基因插入人类和猴子的细胞，再用药物处理这些细胞，观察蛋白泵的工作情况。他们注意到，在携带了某种 SNP 变异的细胞中，细胞蛋白泵的机能开始下降。后来他们又发现，这些细胞合成的 P-糖蛋白结构有些异常。进一步研究显示，上述细胞制造糖蛋白的速度也比正常细胞缓慢许多。

在基因序列上，3 个连续的核苷酸编码一个氨基酸。经过排列组合，4 种 DNA 碱基会产生 64 种密码子，编码 20 种氨基酸，这意味着每种氨基酸可由不止一个密码子表示。不同物种在密码子的选择上有偏好性。这种偏好性可通过细胞内的氨基酸“搬运工”——转运 RNA (tRNA) 的相对含量反映出来。每个 tRNA 分子可识别基因转录产物上某个特定的密码子，并将相应的氨基酸搬运至核糖体，进而组装成一条氨基酸链。当一个密码子较为稀有，细胞内与该密码子相匹配的 tRNA 相对较少，蛋白质的组装过程也就变得缓慢。

在大肠杆菌和酵母菌等微生物中，如果插入一种含有稀有密码子的基因，它们组装该基因编码的蛋白的速度就会变慢，导致蛋白无法折叠成正确的结构。NCI 科学家怀疑，这种以前只在微生物中观察到的现象，也存在于人类细胞之中。他们发现，MDR1 的同义突变产生了一种稀有的密码子，因此 P-糖蛋白的组装速度会下降，导致蛋白折叠出现异常。

基因表达的细微差异

美国马里兰大学的科学家斯蒂芬·J·弗里兰 (Stephen J. Freeland) 提到，在合成药物以及一些新颖蛋白质的时候，经常要将一些外源基因插入到细菌或酵母等微生物中。在这一过程中，研究人员必须要考虑密码子的偏好性，因为这会影响微生物的合成效率。弗里兰的研究小组正在开发一个合成基因数据库及相关软件，以帮助科学家设计更能适应目标生物特点

的基因。弗里兰说，人类细胞中的一些稀有密码子会扰乱蛋白质的折叠，这一发现表明，将遗传语言视为一种数字化语言的观点过于简单。生物学家曾认为，RNA 密码子中 UUU 代表了苯丙氨酸，就像 ASCII 码中 010101 代表字母 A 一样。弗里兰指出，这样的想法应该从 21 世纪

但科学家还观察到这样一些现象：稀有密码子减缓蛋白合成速度之后，蛋白的折叠效率有时反而会提高。这些例子是否透露了新的信息，表明蛋白质最终的正确结构由基因序列决定，目前还不得而知。美国华盛顿大学主要从事蛋白折叠动力学研究的科学家戴维·贝克（David Baker）认为，这些罕见的情形很可能是被进化过程忽略的一些偶然事件，“其中并没有什么需要自然选择参与的深层内容”。贝克解释说，人类的 P-糖蛋白是一种大型蛋白，“对于膜蛋白而言，折叠并插入到细胞膜中，这些过程在蛋白合成之初就已经在进行了，因此可以想象，如果蛋白合成速度下降，折叠也就不可能正常进行”。

英国巴斯大学的劳伦斯·D·赫斯特（Laurence D. Hurst）指出，基因组分析的结

果倾向于这样的观点：哺乳动物对密码子的偏好几乎不存在进化选择性，不过基因对不同密码子的选择有时仍会产生明显影响。由于此前科学家在估算基因突变率时，曾经假设同义突变不会表现在蛋白质上，因此密码子的选择问题可能会影响估算结果的准确性。赫斯特在最近的一篇综述中写道，确认种种同义突变不再“沉默”的机制，对认识和防治遗传疾病非常重要。

目前，金奇-萨尔法蒂就职于美国食品及药品监督管理局（FDA），正致力于利用多态性和基因工程技术来构建更好的血液凝结蛋白。她指出：“此前人们完全忽视了同义突变，将它等同于‘沉默’突变”，今后再也不会将两者混为一谈了。SN

（译 / 冯志华 校 / 褚波 虞骏）

环球科学小词典

沉默突变与同义突变：如果基因中某个密码子变成了另一个密码子，但它所编码的氨基酸并不会发生改变，那么这两个密码子就被称为同义密码子。这样的突变被称为同义突变。传统观念认为，同义突变不会对该基因编码的蛋白质功能产生影响，因此又被称为沉默突变。不过本文提到的发现将改变这一观点。

单核苷酸多态性：人类个体或人群中存在的 DNA 序列单个碱基的差别，多态性一词在生物学上是群体的概念，常指群体中某一遗传特征存在着多种形式。

产品设计

更简单地使用手机

手机生产商专门设计了适合不识字的用户使用的手机。

撰文/萨莉·莱尔曼（Sally Lehrman）

打电话就是抓起听筒让接线员帮你接通？这样的时代早已一去不复返了。现代手机要求用户操纵一系列菜单，才能查找号码、拨打电话或查看短信。即使是最高明的玩家，往往也得花上好几个星期，才能发现一些不常用的多媒体功能。对于不识字的人来说，使用手机的难度可想而知。

这就是移动通信公司在拓展发展中国家业务时面临的挑战。发展中国家的市场前景极为诱人：根据 GSM 协会（全球移动通讯系统协会）的数据，中国只有 1/3 的人使用手机，而印度只有 1/10。不过，将现有的手机直接销往贫穷的农村地区极不现实，那里的多数潜在购买者只了解最基本的电气常识。让他们阅读一系列分级菜单，通过按键来实现多种目的，显然不切实际。

为了设计出合适的产品，摩托罗拉公司成立了一个由人类学家、心理学家和设计专家组成的团队，专门研究不识字的村民如何



■在印度，新的设计能够让不识字的用户更加方便地使用手机。

使用过时的电视机、录音机和电话。这些研究者发现，他们的调查对象能够记住每一个按钮的专门用途。对于 ATM 提款机这类更加复杂的机器，他们则会按顺序记住一套动作，这样就能在不阅读菜单的情况下，顺利操作机器了。

这项为期 3 年的研究，帮助摩托罗拉设计出一款简化手机，它只有 3 个基本功能：

打电话、管理电话号码和简单的文本短信。这个交互式设计团队的负责人加布里埃尔·怀特 (Gabriel White) 指出:“手机中的许多功能对任何人来说都毫无用处。”新手机的图标式互动界面仍然有待改进。有些图像效果不错,比如用一个画着闹钟的图标来表示闹铃设置功能,不过其他一些图标却要重新设计。比如,画有一堆硬币的图标本来打算用来表示预付话费的余额,很多人却认为图标上画的是一堆食物。

低成本的 Motofone 是摩托罗拉公司此番努力的最终设计成果,2006 年下半年,这款手机在印度和巴基斯坦上市,主要针对从未用过手机的用户。一眼看去,这款 9 毫米厚的手机跟普

通机型没什么不同,只是按键少了点,而且没标文字。它有一个数字键区,还有几个独立的功能按钮,分别代表打电话、挂断、菜单和电话本。按下菜单键后,手机屏幕上显示的不是一个层层相叠的功能列表,而是一系列图标,每个图标只代表一种功能。手机上还有一个导航键,方便用户选取图标。

不过,也有一些移动电话公司认为,针对不识字的用户设计一款手机,并不需要完全另起炉灶,从零开始。诺基亚公司的行为学研究人员注意到,手机“新手”会在亲戚朋友的帮助下熟悉基本操作。诺基亚公司没有设计一套全新的界面来应对这一挑战,而是加入了一些音频菜单,还增

加了一种预览模式,让人们可以尝试各种功能,而不用担心会更改某些重要的设置。

美国斯坦福大学从事人机交互 (computer-human interaction) 研究的 BJ·福格 (BJ Fogg) 预言,手机甚至可能成为识字的工具。手机可以教用户学习字母表,也可以给他讲故事,并让他跟着一起阅读。福格指出:“手机也许还会了解你的薄弱环节,并进行针对性的反复训练。”他断言,用不了多久,针对不识字用户设计手机的理念,将融入到普通手机的设计之中,让我们的手机变得更加直观、更加精致。SY

(译/贾明月 校/窝兰霞 虞骏)

图案

中世纪的准晶图案

撰文/JR·明克尔 (JR Minkel)

在设计建筑结构时,中世纪的伊斯兰工匠们偶然发现了所谓的准晶 (quasicrystal) 图案。20 世纪 70 年代,这种复杂的图案因著名数学家罗杰·彭罗斯 (Roger Penrose) 而为人所知。美国哈佛大学物理学研究生陆述义 (Peter J. Lu) 在乌兹别克斯坦旅行时,发现了此类图案。随后,他又仔细检查了来自伊朗、伊拉克、土耳其和阿富汗的照片,发现了更多准晶图案。陆述义和他的合作者、美国普林斯顿大学的保罗·J·斯坦哈特 (Paul J. Steinhardt) 得出结论:一些被称为 Girih 的绚丽瓷砖,必须由蝴蝶结形、五角形、菱形、拉长的六边形和一个大十边形等五块瓷砖准确拼接而成。这种瓷砖拼接的复杂程度,在伊朗建造于 1453 年的 Darb-I Imam 神殿达到了顶峰,那里的对称图案由五边形和十边的星形组成。准晶结构的特点在于,即使向每个方向随意无限延伸,图案也永远不会重复。这些研究者在 2007 年 2 月 23 日的《科学》杂志上介绍了他们的发现。(固体材料可分为两大类:一类是晶体,原子规则排列;另一类是非晶体,原子混乱排列。准晶体则介于两者之间,原子定向有序排列,但不作周期性重复。与准晶体原子结构类似的图案则被称为准晶图案。) SY



■土耳其一座建于15世纪的清真寺中的瓷砖图案,展示了准晶的本质——永远不做周期性重复。

(译/刘旻 校/窝兰霞 虞骏)

记忆

增强记忆的芳香美梦

撰文/查尔斯·Q·蔡 (Charles Q. Choi)

在玫瑰的环抱中睡上一晚,能够增强你的记忆力。睡眠的目的至今仍是谜,一种假说认为,人需要在梦境中重温白天的种种新体验,从而促使它们进入长期记忆。为了探究这个观点,研究人员让自愿者在一间充满玫瑰花香的屋子里,用电脑玩一个被称为“记忆”的纸牌游戏。这个游戏会在电脑屏幕上闪现多对纸牌,参与者要在短短几秒钟内记住它们的位置。随后,在这些受试者进入睡眠状态时,研究人员让他们接受玫瑰花的芬芳——众所周知,气味可以刺激记忆。在慢波睡眠时受到花香熏陶的自愿者,在游戏中表现得更好。慢波睡眠通常代表着睡觉的最深阶段。对处于慢波睡眠的自愿者所做的大脑成像显示,香味激活了被认为与记忆有关的海马区 (hippocampus)。德国吕贝克大学的科学家们在 2007 年 3 月 9 日的《科学》杂志中介绍了他们的这一发现。SY

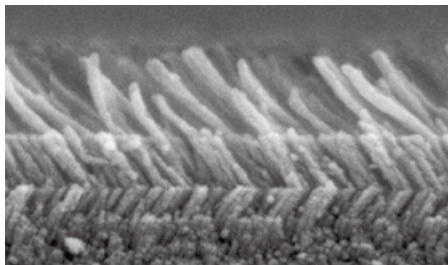
(译/刘旻 校/窝兰霞 虞骏)

光学

不反光的表面涂层

撰文/JR·明克尔 (JR Minkel)

利用一种折射率与空气非常接近的材料,研究人员发明了一种几乎不反射光线的涂层。材料的折射率反映了光穿过这种介质时的速度,从而决定了光路通过这种材料时发生的扭曲程度,也决定了反射光线的强弱。这种新材料由一种透明的半导体晶片构成,上面覆盖了无数倾斜的纳米棒。研究人员将5层纳米棒堆叠在一起,越下层的纳米棒越疏松,这样就可以逐层改变涂层的折射率,从最底层的2.03(与半导体晶片相近)降低到顶层的1.05(与空气相似,空气的折射率为1.0)。美国伦斯勒理工学院(Rensselaer Polytechnic Institute)的E·弗雷德·舒伯特(E. Fred Schubert)和他的小组在2007年3月的《自然光子学》杂志中指出,这种涂层的反射率可以低到0.1%。这种涂层可以应用在LED和太阳能电池上,有助于提高这些设备的功效。SY



■ 成层排布的纳米棒,每一层都具有不同的折射率,可以在一定的波长范围内完全消除反光。

(译/刘旸 校/窝兰霞 虞骏)

认知

老鼠的决策判断力

撰文/查尔斯·Q·蔡(Charles Q. Choi)

元认知(metacognition)曾被认为是人类和其他灵长类动物的专利,指的是个体对自身的思维和学习活动的指示及控制。研究表明,大鼠也具备这种复杂的思维方式。美国乔治亚大学的科学家做了如下实验:他们允许大鼠选择参加或放弃测试。参加并通过测试的大鼠会得到大量的食物奖励,失败就什么也得不到;退出测试则可以得到少量奖励。测试中,研究人员会播放不同长度的噪音。在测试之前,大鼠已经事先学会了界定规则,将持续2到3.6秒的噪音定义为短噪音,持续4.4到8秒的噪音是长噪音。声音越难判断长短(比如噪音持续4.4秒),大鼠就越容易中途退出测试。这项发现被刊登在2007年3月20日的《现代生物学》(Current Biology)杂志中,表明大鼠能够判断自己的成败,暗示元认知的存在或者比人们以前想象的更加普遍。SY

(译/刘旸 校/窝兰霞 虞骏)

物理

超长距离量子纠缠

撰文/JR·明克尔(JR Minkel)

量子纠缠(entanglement)的关联距离正在逐渐加长。在最新的一次演示实验中,科学家在西班牙加纳利群岛的两个岛屿之间,实现了光子的量子纠缠。当两个光子发生纠缠时,不论它们相距多远,其中一个发生的改变,瞬间就会决定另外一个的命运。奥地利维也纳大学的安东·蔡林格(Anton Zeilinger)及其同事,利用一束激光在拉帕尔马岛(La Palma)上生成一对相互纠缠的光子,然后将光子对中的一个光子发射到144千米以外的特内里费岛(Tenerife),并用望远镜进行捕捉。这个距离将纠缠光子在空气中的“飞行记录”延长了10倍。这样的光子也许可以用来传递无法被破译或窃听的加密信息。这个研究小组在2007年3月举行的美国物理学会年会上,介绍了他们的此项突破。SY

(译/刘旸 校/窝兰霞 虞骏)



数据总量增长加速

IDC 信息技术分析公司和 EMC 数据管理公司最近所作的一项合作研究表明,数字信息总量的增长势头正在加快。模拟影像、电视广播和电话向数字格式的转化,以及这些数据文件的储存和共享,是推动“数字宇宙加速膨胀”的动力。

1 字节数据相当于: 8 比特
1 EB (exabyte) 数据相当于:

10 亿 GB
2006 年创造、接收和复制的数据总量: 161 EB
将存储等量信息的书从地球码到太阳再码回来,足够来回: 12 次

预计今明两年内创造、接收和复制的数据总量:
2007 年: 255 EB
2010 年: 988 EB
目前的数据存储能力: 246 EB

磁盘驱动器中每平方英寸能存储的数据量:
1956 年: 2000 比特
2007 年: 1,000 亿比特

数据来源:《膨胀的数字宇宙》,IDC 白皮书,2007 年 3 月

■长期以来，人们一直认为火星上可能存在生命。在火星大气中发现甲烷，更是为这种想法重新点燃了希望。火星表面除了少量的云（白色）以外，看上去十分平静。但是甲烷却暗示，它的地下隐藏着大量生物活动或地球化学活动。

甲烷： 火星与泰坦的 生命证据？

除了地球以外，火星和土卫六泰坦的大气中也有甲烷，这让科学家们兴奋不已。如果没有稳定的来源，大气中的甲烷就会很快消失。地球大气中90%的甲烷是生命代谢活动的产物。这是否意味着，荒凉的火星和寒冷的泰坦上，隐藏着能够生成甲烷的生命呢？

撰文 苏希尔·K·阿特雷亚 (Sushil K. Atreya)
翻译 谢懿
审校 欧阳自远

除了地球，火星是太阳系中最有可能存在生命或者曾经存在过生命的行星。在形成过程、早期气候变迁、储水状况、火山及其他地质过程等许多方面，火星和地球都颇为相似。微生物甚至可以直接在火星上生存。另一个有可能存在生命的天体，则是土星最大的卫星——土卫六泰坦 (Titan)。在泰坦形成之初，那里的环境适合一些有机分子的形成，这些分子正是生命的前身。一些科学家相信，泰坦上曾经存在过生命，甚至现在也可能存在生命。

天文学家在这两个天体的大气中发现了甲烷 (methane, 分子式 CH_4)——一种经常与生命联系在一起的气体，火星和泰坦上存在生命的可能又增加了一分。在火星上，甲烷含量极低，却意义重大；而在泰坦上，甲烷含量丰富，几乎“淹没”了泰坦。甲烷可能来源于生物代谢，也可能产生于地质活动。不论哪一种解释成立，结果都将引起轰动——生物代谢来源意味着我们在宇宙中并不孤独；地质活动来源则表明火星和泰坦的地表（后文中

出现的“地表”和“地面”都是指特定星球的表面，而非地球的表面）下存在着巨大的水库，那里的地质活跃程度出乎我们的意料。了解这些甲烷的起源和演化，将为科学家提供重要的线索，解答太阳系及其他行星系统中的类地行星如何形成、怎样演化、是否适合生命生存等一系列问题。

在木星、土星、天王星和海王星等巨行星上，甲烷含量十分丰富，它们是形成太阳系的原始星云物质发生化学反应的产物。不过，地球上的甲烷却很特殊。地球大气中的甲烷含量约为1,750 ppbv (ppbv表示体积比为十亿分之一)，90%~95%来源于生物体。食草的有蹄类动物（例如奶牛、山羊和牦牛等）打嗝时排出的甲烷，占全球每年甲烷排放量的1/5，这些气体是有蹄类动物消化道内细菌新陈代谢的副产品；其他主要的甲烷来源包括白蚁、水稻、沼泽、天然气的泄漏（天然气本身就是远古生物体的产物）和光合作用植物（参见《环球科学》2007年第3期《全球变暖

植物无辜》一文)等;火山对地球甲烷排放量所做的贡献不足 0.2%,不过它们喷出的甲烷仍然是远古生物制造的;工业生产等非生物甲烷来源几乎可以忽略不计。因此,在其他与地球类似的天体上探测到甲烷的存在,无疑会增加在那里找到生命的可能。

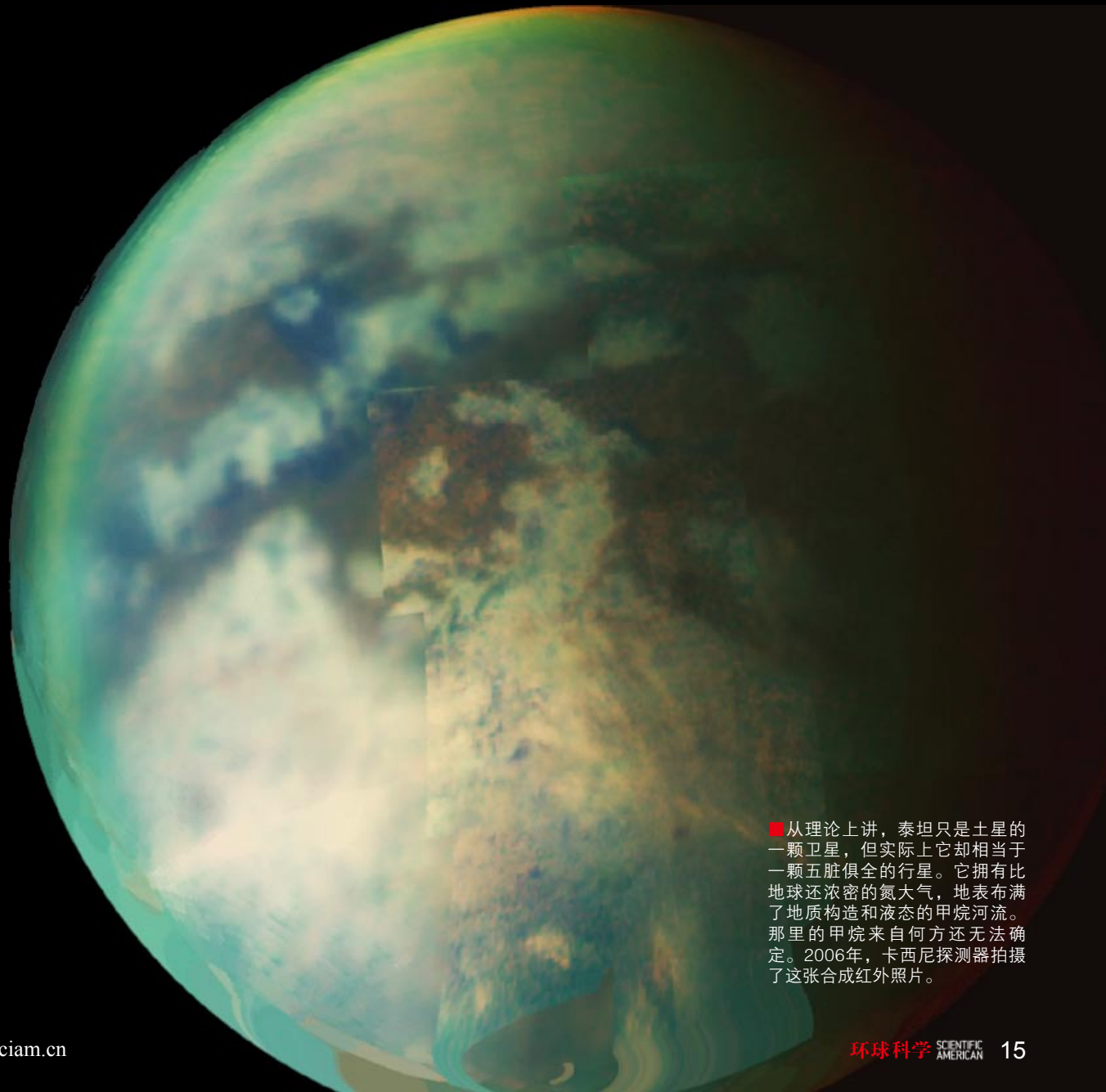
大气中的甲烷

火星和泰坦的大气中都存在甲烷。它们是否预示着那里存在着外星生命呢?

2003 年和 2004 年,三个独立的科研小组先后宣布,在火星的大气中发现了甲烷。

美国航空航天局(NASA)戈达德航天中心迈克尔·穆

马(Michael Mumma)领导的小组,使用美国夏威夷红外望远镜和智利南双子望远镜上的高分辨率摄谱仪,发现火星上的甲烷含量超过 250 ppbv,并且会随地点的不同而发生变化,可能还会随时间发生改变;意大利罗马物理及行星科学研究所的维托利奥·福尔米萨诺(Vittorio Formisano)和他的同事,分析了“火星快车”(Mars Express)探测器拍摄的上千份红外光谱数据。我也参与了这项工作,结果发现火星大气中甲烷的含量要小得多,最高不超过 35 ppbv,平均值约为 10 ppbv。美国天主教大学(Catholic University of America)的弗拉基米尔·克拉斯诺波利斯基(Vladimir Krasnopolsky)及其同事,用加拿大—法国—夏威夷望远镜测得火星的甲烷含量平均值约为 10 ppbv。不过由于信号分辨率和空间分辨率较低,他们无



■从理论上讲,泰坦只是土星的一颗卫星,但实际上它却相当于一颗五脏俱全的行星。它拥有比地球还浓密的氮大气,地表布满了地质构造和液态的甲烷河流。那里的甲烷来自何方还无法确定。2006年,卡西尼探测器拍摄了这张合成红外照片。

法确定甲烷在火星上的分布变化。

穆马的小组正在分析数据，试图找出他们的结果与其他观测背离的原因。就目前而言，我倾向于采用获得多数观测支持的数据，即火星上的甲烷平均含量为 10 ppbv。对应的甲烷浓度（即单位体积中甲烷的分子数）只相当于地球大气中甲烷浓度的四千万分之一。不过，即使这些甲烷的含量极低，它们的存在仍然需要一个合理的解释。

早在 1944 年，天文学家就发现了泰坦上的甲烷。不过直到 1980 年，泰坦上发现氮气之后，人们才对这颗寒冷而遥远的土星卫星产生了浓厚的兴趣。氮是组成氨基酸和核酸等生物分子的关键成分。拥有氮气和甲烷、地表大气压为地球 1.5 倍的泰坦，很可能拥有产生生命分子前体（即后来演化出生命的复杂分子）所需的化学原料。甚至有人推测，生命已经在泰坦上形成了。

泰坦上之所以能够维持以氮为主的浓密大气，甲烷起到了核心作用。甲烷会产生碳氢化合物烟雾，吸收太阳的红外辐射，使平流层（stratosphere）的温度升高 100℃ 左右；甲烷还能分解产生氢气，氢分子的碰撞使对流层升温 20℃。如果甲烷消失，温度就会下降，氮气会凝聚成液滴，大气层也会坍塌消失。于是，泰坦现有的特征就会消失得无影无踪：烟雾和云层会消散，侵蚀着地表的甲烷雨将消失，湖泊、池塘和溪流也会干涸。今天的泰坦仍然笼罩着一层神秘气息，因为烟雾“面纱”阻挡了地球上望远镜的视线，让我们无法看清这颗卫星。如果甲烷消失，泰坦荒凉的地表裸露出来，它的神秘气息将不复存在，变成一颗拥有稀薄大气、看上去毫无特点的普通卫星。

火星或泰坦上的甲烷从何而来？是与地球上一样，源于生物体的新陈代谢，还是产生于其他过程，例如火山喷发或者彗星及流星的撞击呢？对地球的物理、化学和生物学过程的认识，能够帮助我们筛选火星上甲烷的可能源头，类似的讨论也同样适用于泰坦。

概述 / 甲烷

◆ 一个多世纪来，天文学家一直在谈论火星生命，但几乎没有提出确凿的证据。2003 年，情况发生了变化：科学家在火星的大气中找到了甲烷。由于甲烷会被阳光持续分解，因此必定有某些正在发生的过程将甲烷注入火星大气之中。

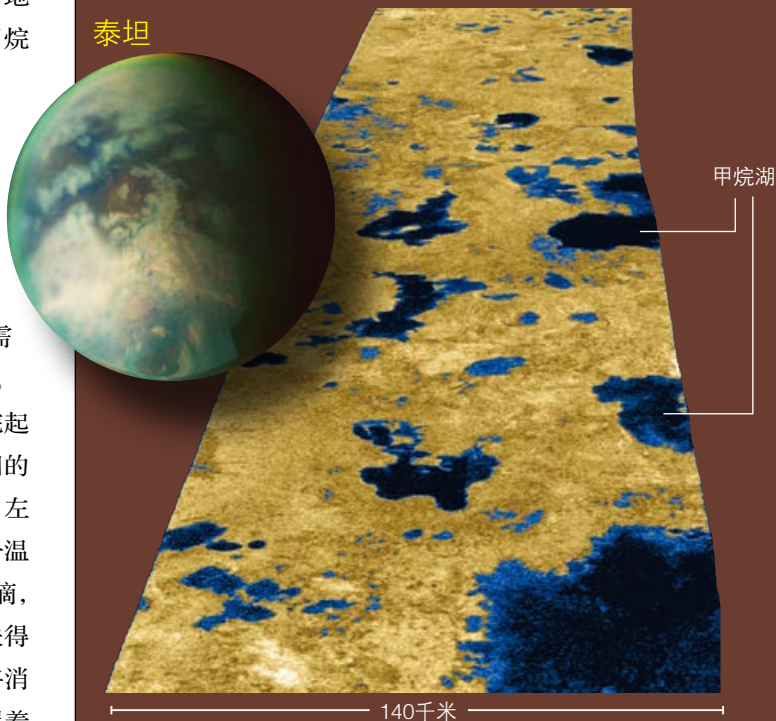
◆ 研究人员已经锁定了两种可能的甲烷来源。第一种是火星生命——确切地说，是一种能够合成甲烷的细菌，就像地球上奶牛胃里的细菌一样；第二种则是岩石与水发生了被称为“蛇纹石化”过程的化学反应，这种反应出现在地球海底的“黑烟囱”中。第二种情况看似令人失望，但它却暗示火星上储存着地下液态水——这本身就是一个重大发现。预定在 2009 年发射升空的新型火星漫游车，也许能够揭开这个谜题。

◆ 在土星最大的卫星泰坦上，也存在着同样的问题。2005 年，惠更斯探测器证实，甲烷在泰坦上扮演着地球上水的角色。那里的甲烷很可能来自一大片地下海洋中发生的地球化学反应。

泰坦和火星的快照

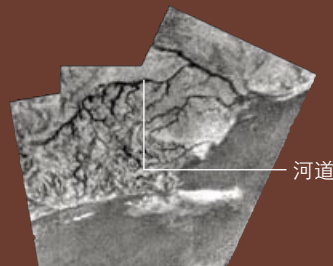
早在 20 世纪 40 年代，天文学家就在泰坦的大气中发现了甲烷，但是浓密的云层遮挡了它的地表。卡西尼-惠更斯土星探测任务已经揭开了泰坦的面纱，让我们了解甲烷如何改变泰坦的地貌。

泰坦



卡西尼探测器的雷达图像显示，泰坦的北半球拥有液体湖泊，里面的“水”很可能是甲烷。液体在图像中呈现出深色（用蓝色表示），这与夜晚行车时看到的潮湿路面呈现深色是一个道理：平滑的液体表面会将车灯反射到前方，无法被我们看见。相反，干燥崎岖的固态表面呈现出亮色（黄褐色）。这张图像的分辨率为 500 米。

河道可能是液态甲烷从一系列山脉（高约 200 米）流入一个现已干涸的湖床而形成的。支流的分布模式显示，这些甲烷来自于降雨。这张照片是惠更斯探测器在下降着陆的过程中，从距离地面 6.5 千米的高空拍摄的。



被阳光分解

大气中的甲烷会被阳光分解，得不到补充就会逐渐消失，因此火星上必然存在某种过程能够制造甲烷，弥补损失。这一过程究竟是火山喷发，还是外太空的彗星撞击呢？

要弄清甲烷的来源，首先要确定维持大气中甲烷浓度所需的甲烷生成率。这个生成率又取决于甲烷在大气中丢失的速率。在距离火星地表 60 千米以上的高空，阳光中的

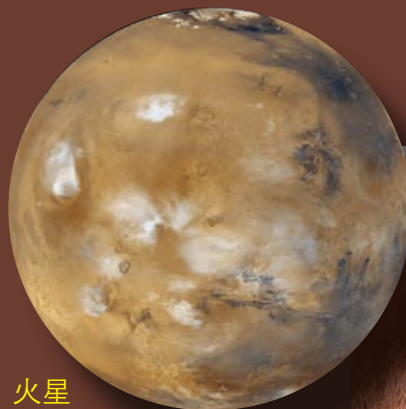
在火星上，甲烷的含量极低，仅有几个ppbv，因此科学家无法直接观测到火星甲烷。业已观测到的许多过程都能摧毁或制造甲烷。



云雾

阳光分解甲烷后形成的碳氢化合物，构成了泰坦上层大气中的云雾，类似于城市上空的烟雾。这张照片的分辨率为 700 米。

2005 年 1 月，惠更斯探测器着陆泰坦，将从未展现在世人面前的泰坦地表照片发回地球。照片上的景色看似平淡无奇，其中的“岩石”是拳头大小的冰块。近距离观测发现，泰坦地表有液体（很可能是甲烷）侵蚀的痕迹。当探测器加热土壤时，甲烷便泄露了出来。



火星

2002 年 5 月 21 日，“火星环球勘测者”观测到一个沙尘旋风卷过火星地表。这种旋风携带着尘埃颗粒相互摩擦，会产生强大的静电场。电场会撕碎水分子，并且产生能够破坏甲烷的过氧化氢。

沿着环形山的一侧攀爬而上的沙尘旋风

3.1 千米



1 千米

火星过去的地下水流动，可以解释“火星勘测轨道飞行器”最近观测到的这条白色山脊（箭头所指）。水流过岩石缝隙时会沉淀矿物，就像管道中沉积的水垢一样。当周围的岩石被侵蚀后，剩下的矿物就形成了山脊。地下水还有助于制造甲烷。

甲烷数据	地球	火星	泰坦
大气中的甲烷含量	1750 ppbv	10 ppbv	5%
大气中的甲烷寿命	10 年	600 年	1,000 万年
维持甲烷含量所需的形成率（吨/年）	5.15 亿	125	2,500 万
主要来源	家畜、白蚁、沼泽、水稻、天然气	细菌？含水层中的岩石-水反应？	地下海洋中的岩石-水反应

紫外线会分解甲烷分子；在较低的大气层中，水分子被紫外线分解后形成的氧原子和羟基（OH）会氧化甲烷。如果得不到补充，甲烷就会逐渐从大气中消失。甲烷浓度降低到原先的 $1/e$ （ e 为数学常数，数值约为 2.7）所需的时间，被定义为甲烷的“寿命”。火星上甲烷的寿命约为 300 到 600 年，取决于大气中的水蒸气含量和太阳辐射强度，前者会随季节发生变化，后者则会受到太阳活动周期的影响；在地球上，甲烷的寿命只有 10 年左右；在泰坦上，太阳的紫外线辐射要弱得多，含氧分子也少得多，甲烷可以存在

1 千万到 1 亿年。不过相对于地质年代来说，这仍是转瞬一刻。

火星上甲烷的寿命虽然不长，却足以让它随风扩散，相对均匀地混合到大气之中。因此，我们观测到的甲烷浓度不均匀性（随位置不同而变化）着实令人费解。这也许暗示，火星的某些区域存在甲烷的源头，或者甲烷在某些区域丢失的速率更快。比如，具有化学活性的土壤会加速甲烷的分解。如果这些额外的甲烷丢失过程确实发挥作用，那么维持观测到的甲烷浓度所需的甲烷源就必须更大。

科学家们接下来考虑的，则是甲烷形成的潜在机制。火星上甲烷含量很低，成了一块很好的试金石。假如某种机制连火星上如此微量的甲烷都无法解释，就更无法解释泰坦上含量更加丰富的甲烷了。假设甲烷的寿命为 600 年，想把全球平均浓度维持在 10 ppbv，火星上每年至少要制造出 100 吨甲烷。这大约是地球甲烷生成率的四百万分之一。

和在地球上一样，火山的影响可以排除，因为火星上的火山活动已经停止好几亿年了。此外，火山活动在喷出甲烷的同时，还会喷出大量的二氧化硫，而火星大气中不存在任何含硫化合物。

源于太空的甲烷比例也很小。科学家估计，每年落到火星地表的微陨石尘（micrometeoritic dust）约有 2,000 吨，其中碳含量不足总质量的 1%。这些碳被高度氧化，不是火星甲烷的主要来源。彗星物质中，甲烷所占的质量约为 1%，但是彗星撞击火星的几率较低，平均 6,000 万年才有一次。因此，每年来源于太空的甲烷仅有大约 1 吨，不到所需甲烷生成率的 1%。

那么，有没有可能是一颗彗星不久前撞击了火星呢？它能带来大量的甲烷，随着时间的推移，大气中甲烷浓度逐渐降低到现在的水平。如果 100 年前有一颗直径 200 米的彗星撞击火星，或者 2,000 年前有一颗直径 500 米的彗星撞击火星，确实可以带来足够的甲烷，解释目前观测到的 10 ppbv 的甲烷平均浓度。但是，这种假说存在一个破绽：甲烷在火星上的分布是不均匀的。彗星撞击火星之后，最多只需要几个月，大气中的甲烷就会充分扩散，在垂直和水平方面上均匀分布——这恰恰与观测到的事实背道而驰。

水中的烟卤

火山和彗星撞击无法解释火星上的甲烷含量，现在只剩下两种可能的解释：不是火星地下含水层中的化学反应生成了甲烷，就是火星上的微生物制造了甲烷！

在地球上，产生甲烷的水文地球化学过程主要发生在被称为“黑烟囱”的海底热液喷口（hydrothermal vent）附近。1977 年，这种黑烟囱在加拉帕戈斯裂谷（Galápagos Rift）首次被发现。此后，海洋学家又在许多洋中脊（mid-oceanic

► 环球科学小词典

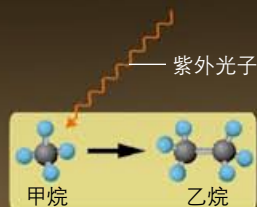
洋中脊：又称中央海岭，是一条在大洋中延伸的海底山脉。板块构造学说认为，洋中脊是地幔对流上升形成的，是板块分离的部位，也是新地壳开始生长的地方。洋中脊顶部的地壳热量相当大，是地热的排泄口，伴有火山活动，地震活动也很活跃。

火星上的甲烷

按理说，火星上不应该存在甲烷。因为阳光和气候因素主导的化学反应会迅速分解甲烷，而已知的地质和天文过程无法补偿这种损失。因此，甲烷的存在暗示，火星上存在着看不见的活动，例如热液喷口中的化学反应，或地下水体中产烷微生物的代谢过程。

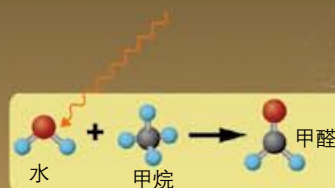
太空

甲烷的分解



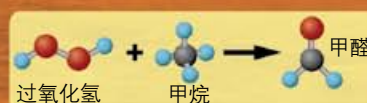
光化学反应
发生在 60 千米高空

大气



氧化作用
发生在低层大气中

沙尘旋风 ——



电化学反应
由沙尘旋风和风力驱动

地表

地下

含水层

深层地壳/地幔

常规的甲烷来源

微陨石尘
贡献的甲烷可以
忽略不计

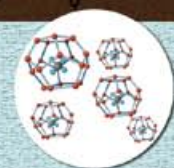
风
应该让甲烷在大气中均匀
混合，因此观测到的甲烷
分布不均匀性仍是谜

彗星撞击
贡献的甲烷可以忽略
不计

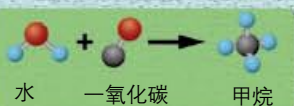
火山喷发
有时会喷出甲烷，但火星上的火山活
动早已停止

火星漫游车

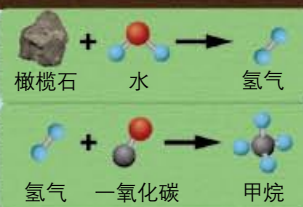
可能的甲烷来源



甲烷的笼形水合物
会将微生物或热液喷口制
造的甲烷储存起来，并通
过裂缝逐渐释放到地表



微生物
可以重新组合水和含碳分子，制
造甲烷



热液喷口
通过水-岩石化学反应的两个步
骤，制造甲烷

ridge) 沿线附近发现了这类喷口。实验研究表明,当超镁铁质硅酸盐 (ultramafic silicate, 富含铁和镁的岩石, 比如橄榄石和辉石构成的岩石) 处于热液喷口处常见的环境中时, 就会通过一种“蛇纹石化”(serpentinization, 即文中产生甲烷的一系列地球化学过程, 因产物中包含蛇纹石而得名) 过程生成氢气。氢气又能和碳颗粒、二氧化碳、一氧化碳或含碳矿物发生反应, 产生甲烷。

这一过程的关键因素包括: 氢、碳、金属(催化剂)、热量和压力。这些条件在火星上同样具备。蛇纹石化过程可以在高温(350℃~400℃)或中等温度(30℃~90℃)条件下发生。科学家估计, 火星地下潜在含水层的温度可以满足上述较低的温度条件。

尽管低温蛇纹石化过程可以在火星上生成甲烷, 但生物代谢来源的可能性同样不可小视。在地球上, 所谓的“产甲烷生物”(methanogen) 在消耗氢气、二氧化碳或一氧化碳时, 会释放出副产品甲烷。如果火星上存在这样的微生物, 它们也不会忍饥挨饿: 氢气可以通过火星蛇纹石化过程而产生, 也可以从大气中扩散到土壤里; 二氧化碳或一氧化碳则存在于岩石和大气之中。

不论通过哪种方式, 甲烷一旦生成, 就会以稳定的笼形水合物(clathrate hydrate, 一种类似用笼子囚禁动物那样, 能够困住甲烷分子的化学结构) 的形式被储存起来, 随后通过裂缝的缓慢泄漏或者火山活动的短暂喷发过程进入大气。目前, 还没有人确切知道笼形水合物的形成率和降解率。

火星快车的观测数据暗示, 火星地表下含有水冰的区域上方, 甲烷含量较高。地质学机制和生物学机制都能解释这样的相关性。冰层下的含水层可以为生命提供一个理想的栖息地, 也可以为产生甲烷的水文地质过程提供一个

本文作者

阿特雷亚的空间科学生涯, 开始于探测巨行星的旅行者计划。他先后参与了伽利略计划、卡西尼—惠更斯计划、金星快车计划、火星快车计划、火星科学实验室计划(预计2009年发射)和木星极地轨道飞行器计划(2011年发射)。他的研究集中在大气形成和演化领域, 以及行星系统的形成方面。他是美国密歇根大学教授、美国科学促进会(American Association for the Advancement of Science)成员、美国喷气推进实验室(JPL)的杰出访问学者。在不研究其他星球的时候, 阿特雷亚喜欢在群山中徒步旅行, 或者骑自行车。他想在这里向克洛艾·阿特雷亚(Chloé Atreya)、韦斯利·亨特里斯(Wesley Huntress)、保罗·马哈菲(Paul Mahaffy)、因杰顿·凯特(Ingenten Kate)、亨利·波拉克(Henry Pollack)以及埃琳娜·亚当斯(Elena Adams)表示感谢, 感谢他们在本文撰写过程中给予的讨论和建议。

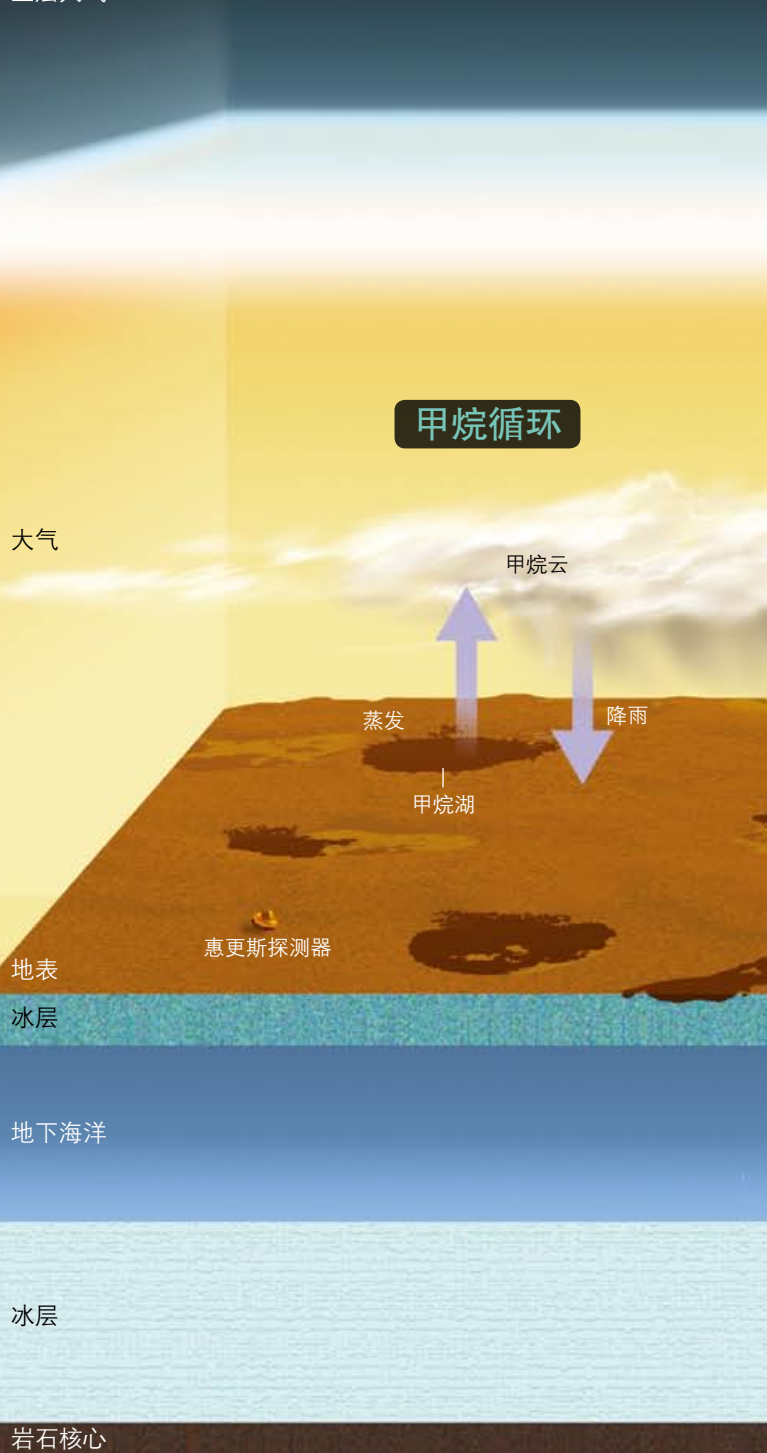
本文审校

欧阳自远, 中国科学院院士, 国内天体化学领域的开创者, 中国空间科学学会副理事长。近年来积极参与并指导了中国月球探测的短期目标与长远规划的制订, 是中国探月工程首席科学家。

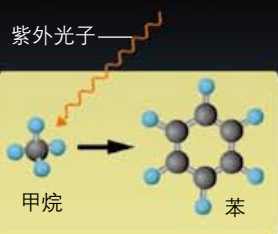
泰坦上的甲烷

泰坦上的甲烷类似于地球上的水, 在那里形成了地面上的溪流、洼地中的池塘、空气中的蒸汽, 以及重新落到地面上的雨滴。和火星上一样, 化学反应会破坏泰坦上的甲烷, 因此甲烷必须通过地质学或生物学过程得到补充。

上层大气



甲烷的分解



光化学反应
摧毁了甲烷，形成了浓厚的云雾

云雾

可能的甲烷来源

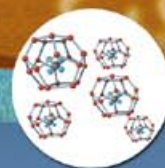


— 甲烷河流



微生物
可以制造甲烷，但是贡献的数量可以忽略不计

冰火山
会喷出氨-水冰颗粒，也能喷出甲烷



甲烷笼形水合物
在冰层中储存泰坦过去制造的甲烷，并通过缝隙逐渐释放到地表

热液喷口
在遥远的过去，当海洋延伸到岩石核心时，热液喷口也能制造甲烷



良好的场所。在没有更多数据的情况下，生物代谢来源和地质代谢来源算是打了个平手。

泰坦的海洋

泰坦上的甲烷很可能是地球化学过程的结果，这意味着泰坦的地表下存在着辽阔的海洋。地下海洋中的环境非常适合复杂分子的形成，甚至有可能诞生生命。

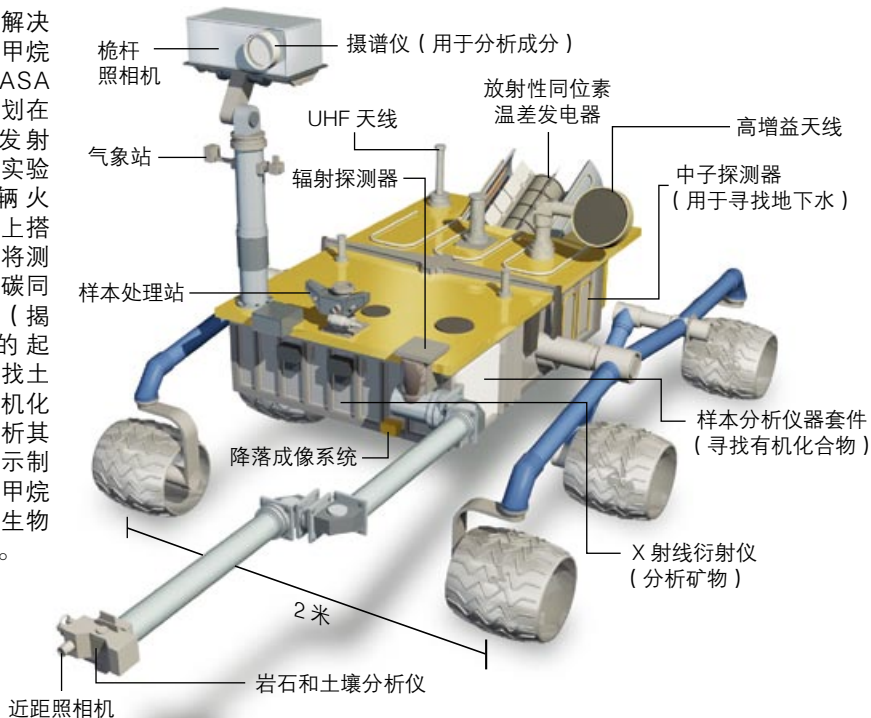
乍一看，泰坦上的甲烷似乎更容易解释：这颗卫星与土星形成于同一团气体，而土星大气中含有大量的甲烷。然而，观测数据显示，泰坦上的甲烷并非来自土星。在NASA和欧洲空间局(ESA)合作开展的“卡西尼-惠更斯”土星探测计划中，惠更斯探测器发现，泰坦的大气中不含氙(xenon)和氪(krypton)。如果甲烷是在泰坦的形成过程中留存下来的，这两种惰性气体也应该存在。因此，泰坦上的甲烷很可能是在这颗卫星上自行制造的。

从某种意义上说，泰坦甲烷的神秘感更胜一筹，因为那里的甲烷含量相当高(约占大气总体积的5%，即5,000万ppbv)。与火星上一样，低温蛇纹石化过程也是泰坦甲烷的合理来源。法国南特大学的克里斯托夫·索廷(Christophe Sotin)及其同事认为，泰坦可能拥有一个由液态水组成的地下海洋(参见前两页插图)。溶解的氨起到了防冻剂的作用，使海水不至于冻结成固体。在他们提出的模型中，海洋位于泰坦地表之下100千米处，深达300千米~400千米。在过去，放射性元素的衰变和泰坦形成时的余热几乎融化了这个天体上所有的冰——当时的海洋也许一直延伸到它的岩石核心。

在地下海洋环境中，水和岩石之间的相互作用会释放氢气，氢气又会和二氧化碳、一氧化碳、碳颗粒或其他含碳矿物发生反应，生成甲烷。据我估计，这种地质过程可以解释观测到的泰坦甲烷含量。一旦形成，甲烷也会像在火星上一样，以稳定笼形水合物的形式储存在地下，然后通过火山活动逐渐释放，或者在陨石撞击时突然喷发出来。

NASA的下一代火星漫游车

为了解决火星上的甲烷问题，NASA下一步计划在2009年发射火星科学实验室。这辆火星漫游车上搭载的仪器将测量甲烷的碳同位素构成(揭露甲烷的起源)，寻找土壤中的有机化合物(分析其成分，揭示制造或破坏甲烷的化学或生物学过程)。



惠更斯探测器在着陆泰坦的过程中，找到了一条有趣的线索：它在泰坦的大气层中发现了氙40。这种同位素是钾40放射性衰变的产物，而钾40早已被深埋在泰坦的岩石核心深处。钾40的半衰期是13亿年，因此大气中微量的氙40表明，确实有气体从泰坦内部缓慢释放出来。此外，泰坦地表的光学和雷达影像还发现了冰火山活动(cryovolcanism)的迹象，表明那里存在着氨和水冰的间歇性喷发，这同样说明有物质从泰坦内部喷涌而出。泰坦的地表相对年轻，没有环形山，表明来自泰坦内部的物质重塑过它的地表。这些过程可以让足够多的甲烷迅速从内部释放出来，以补偿阳光分解甲烷所造成的损失。在泰坦上，甲烷还起到了类似地球上流水的作用，形成了甲烷湖(海)、甲烷云和甲烷雨，构成了一个完整的甲烷循环(methalogical cycle，这是依照地球上的水循环生造的一个术语)。因此，泰坦上的证据比火星上更加充分，可以证明储存在内部的甲烷能够毫不费力地跑到地表，然后蒸发进入大气之中。

那么，泰坦上的甲烷有没有可能是生物制造的呢？NASA艾姆斯研究中心的克里斯托弗·麦凯(Christopher McKay)、法国国际航天大学(International Space University，位于法国斯特拉斯堡)的希瑟·史密斯(Heather Smith)、美国华盛顿州立大学的迪尔克·舒尔策-马库赫(Dirk Schulze-Makuch)和美国丹佛自然科学

博物馆的戴维·格林斯普恩 (David Grinspoon) 认为, 即使在极为寒冷的泰坦表面 (-179°C), 乙炔和氢仍然可以为产烷生物提供养料。那里的生物学过程与地球和火星上 (如果存在的话) 的产烷生物有所不同, 不需要水的参与。相反, 液态的碳氢化合物在泰坦地表起到了媒介的作用。

不过, 这个假说有一个弊端。惠更斯探测器的数据排除了地下乙炔源的存在, 这种化合物只能来源于大气中的甲烷。因此, 生物代谢来源就成了一个循环论证: 必须先有甲烷, 微生物才能制造甲烷。另外, 泰坦上的甲烷浓度非常高, 产烷生物不得不超负荷工作才能制造这么多甲烷, 势必严重消耗它们的养料。

如此看来, 泰坦上甲烷的生物代谢来源并不像火星上那么站得住脚。然而, 泰坦是否可供生命栖息仍然有待研究。一些科学家认为, 泰坦曾经适合生命居住, 甚至现在仍然适合生存。它能吸收足够的阳光, 让氮和甲烷以分子形态存在, 这正是形成生命分子前体所需的化学原料。地下的氨-水海洋中存在着甲烷和其他碳氢化合物, 环境非常适宜复杂分子, 甚至生命的形成。在遥远的过去, 当年轻的泰坦仍在冷却时, 它的地表甚至可能流淌着液态水。

尚无定论

甲烷的存在是否意味着火星和泰坦上一定存在着生命呢? 只有在进行更加细致的分析之后, 科学家才能给出明确的答案。

确定火星和泰坦上的甲烷是否源自生命, 关键在于测定碳同位素的比例。地球上的生命偏爱碳 12, 因为它的结合能比碳 13 更低。当氨基酸组合在一起形成蛋白质时, 其中碳 13 的比例就会偏低。地球上的生物体内, 碳 12 的含量是碳 13 的 92~97 倍; 非生命的无机物中, 碳 12/ 碳 13 的同位素的标准比例是 89.4。

然而在泰坦上, 惠更斯探测器测定的甲烷碳同位素比例为 82.3, 反而比地球上无机物的标准比值更低。这一发现给泰坦上可能存在已知生命形式的想法当头泼了一盆冷水。不过, 也有一些科学家指出, 泰坦上的生命也许走了一条与地球生命完全不同的演化道路, 也可能泰坦上的无机物碳同位素比例有别于地球。

目前, 科学家还没有对火星上的碳同位素比例进行测定, 因为火星上的甲烷极其稀薄 (仅为泰坦的十亿分之一), 测定起来极具挑战性。NASA 计划在 2010 年, 将名为“火星科学实验室” (MSL) 的漫游车送上火星 (参见《环

球科学》2007 年第 3 期《空投火星漫游车》一文), 它将精确测量甲烷和其他有机物中的碳同位素比例。它还会在固体和气体样本中, 研究过去或现在的生命留下的化学痕迹, 比如甲烷的含量是否远远高于其他较重的碳氢化合物 (乙烷、丙烷、丁烷等); 有机分子的手征性 (chirality) 是否表现出特殊的偏好等。

与甲烷的生命起源紧紧联系在一起的, 还有另外一个疑问: 为什么火星地表不存在有机物? 要知道, 即使没有生命, 在长达 45 亿年的漫漫岁月里, 陨星、彗星和行星际尘埃也会把有机物带上火星。这个问题的答案也许就隐藏在火星的沙尘旋风 (dust devil)、沙尘暴和沙尘跃移 (saltation, 尘粒在风力作用下跳跃式移动) 之中。这些过程能够产生强大的静电场, 触发化学反应, 合成过氧化氢。过氧化氢是一种有效的杀菌剂, 能够迅速对火星地表进行灭菌, 进而清除有机物。这些氧化剂还会使某些区域的大气甲烷损失率加剧, 因此要解释火星大气中观测到的甲烷含量, 就要有一个更大的甲烷源才行。

总之, 甲烷让泰坦笼罩在一层神秘的迷雾之中, 而火星上的甲烷也同样魅力难挡, 因为它们很可能与生命有关。未来的探测任务将对这两个天体展开进一步研究, 确定它们是否曾经适合生命生存。尽管如我们所知, 生物有能力制造甲烷, 但甲烷的存在并不意味着生命一定存在。行星科学家们必须彻底排查甲烷的来源和去向, 测定甲烷和其他有机分子的同位素构成, 分析气体和固体样本中的微量化学成分, 才能对外星生命是否存在作出明确的判断。即使那些甲烷最终和生命没有关联, 研究这些气体仍然会给我们提供有关火星和泰坦的形成、气候历史、地质变迁及演化等多方面的基本信息。SA

► 环球科学小词典

手征性: 又称手性, 指的是一种化学物质同时具有两种不同的分子结构, 它们互为镜像对映体, 彼此间的关系就像人的左右手。两种结构的化学性质相同, 在与生命无关的现象中, 左旋和右旋的有机分子数量相当。而在生命活动中, 左右旋两种分子的平衡被破坏——例如地球上的生物体内, 只存在左旋的氨基酸和右旋的糖。

扩展阅读

Detection of Methane in the Atmosphere of Mars. Vittorio Formisano, Sushil Atreya, Thérèse Encrenaz, Nikolai Ignatiev and Marco Giuranna in *Science*, Vol. 306, pages 1758–1761; October 28, 2004.

A Sensitive Search for SO₂ in the Martian Atmosphere: Implications for Seepage and Origin of Methane. Vladimir A. Krasnopolsky in *Icarus*, Vol. 178, No. 2, pages 487–492; November 2005.

Episodic Outgassing as the Origin of Atmospheric Methane on Titan. Gabriel Tobie, Jonathan I. Lunine and Christophe Sotin in *Nature*, Vol. 440, pages 61–64; March 2, 2006.



理性追寻外星生命

撰文/林清

人类的探测器隔三差五就拜访火星一次，在这颗与地球条件最相近的星球上，找到了越来越多水存在的证据（参见《环球科学》2007年第1期《火星水世界》一文），让火星上是否存在生命这一古老的话题，重新引起了广泛的关注。现在，火星和泰坦上又出现了可能预示生命存在的新证据——科学探测发现了不少的甲烷！

一般人恐怕都不清楚甲烷与生命有什么关系。但是科学家告诉你，地球上90%以上的甲烷都是由生命的活动产生的！当然，其他一些地质原因也可能产生甲烷，目前的数据还无法判定，火星或泰坦上必定存在生命。不管怎样，这毕竟又给地外生命的探索增加了一个兴趣点。

那么，地外生命是否存在？科学家表示，我们还没有外星生命确实存在的证据。这时总会有人激动地反驳，宇宙那么大，凭什么不能有外星人存在，那些不明飞行物不就是外星人驾驶的飞船吗？

遇到这个问题，科学家往往很无奈。

其实，绝大部分科学家甚至比普通人更加相信，这个庞大到难以想象的宇宙之中，一定会有地外生命存在。地球只是宇宙中一颗普通的星球，怎么可能只有这里才会产生生命呢？

但是，科学家和狂热的UFO爱好者们有很大的差别——他们崇尚理性。科学家也很希望那些UFO就是外星人飞船，但95%以上的UFO事件都得到了科学解释，与外星人毫无关

系。不过，也有一小部分无法合理解释，UFO爱好者往往感情用事，把这类事件全都推给外星人。这种态度与科学萌芽之前，古人将风雨雷电归结为神仙显灵并没有什么两样。其实在这些所谓的“难解之谜”中，有些是因为记录粗糙，无法给出判断；有些可能是保密的军事行为，得不到真相；还有一些根本就是编造出来的骗局，只



■科学家在地球北极的硫磺泉中找到了奇异的微生物，它们以硫酸盐矿物为生，代谢产物氧化硫将冰面染成了鲜黄色。不过即使是这种生命，仍然离不开水。

不过骗术高明，一时难以揭穿罢了。

因此，对于这些未解的UFO事件，科学家只能持谨慎的保留态度。科学家从来没有否认外星人的存在，他们只是说，现在还没有确切的证据表明外星人来过地球。这才是严谨的科学态度。

科学家在谈及外星生命时，还会经常讲到水的重要性。于是，又会有人提问，为什么老是要拿地球生命的

标准去衡量外星生命，凭什么外星生命就不能以其他物质为生，与水无关呢？

现代科学虽然发达，但还远达不到看透一切的程度。所以，公众的质疑从逻辑上讲是正确的。不能因为地球生命离不开水，便推论说离开了水就不可能存在生命。然而，科学研究还得有个继承性：科学必须扎实地建立在已有知识的基础之上，否则就会变成空中楼阁。

假如外星生命不依赖于水，它们该怎样新陈代谢，如何生存繁衍，适合在哪一种环境生存？对于这些问题，科学家根本无从下手。科学研究固然离不开想象，但缺乏根据的胡思乱想，显然得不到任何有意义的成果。所以目前科学家暂时假定生命与水有关，实在是一个无奈的选择。如果真有什么证据表明生命离得开水，科学家一定非常高兴，因为这样的发现不仅可以获得诺贝尔奖，还能在寻找外星生命的道路上，奠定一块重要的基石，打开一个全新的探索方向。

总而言之，科学家在对待地外生命这个问题上，热情不亚于大众。但是热情不能代替理性，科学需要证据，要站在坚实的基础上，进行严密的逻辑推理。想象可以帮助科学家获得新的发现，但是科学研究绝对不等于想象！

本文作者

林清，天文学博士，研究领域为星团和银河系结构与演化。现任上海天文台佘山天文站站长，上海市天文学会秘书长。长期从事天文科普工作，组织过多次大型天文科普活动，2004年主持建设上海天文博物馆并担任馆长。

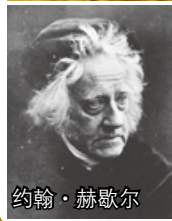
泰坦探测简史

撰文 Steed

荷兰物理学家克里斯蒂安·惠更斯发现了土星最大的卫星。它的直径约为月球的1.5倍，体积在太阳系卫星中排名第二。1847年，英国天文学家约翰·赫歇尔将它命名为泰坦。



惠更斯



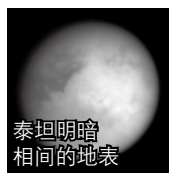
约翰·赫歇尔

美国的旅行者1号探测器飞临泰坦，发现泰坦被浓厚的迷雾笼罩，无法看清表面。大气反射了大部分光线，造成了反温室效应，使泰坦表面异常寒冷。在这样的温度下，甲烷可以以液体形态存在。



旅行者1号拍摄的泰坦大气层

10月，卡西尼探测器成功拍摄了泰坦的第一张高分辨率红外光谱及照片，人类首次清晰地看到隐藏在浓厚大气之下的泰坦表面。泰坦表面存在明暗迥异的地区，可能是地表化学成分不同的结果。



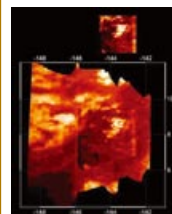
泰坦明暗相间的地表

2月，卡西尼探测器在泰坦上发现了一个直径440千米的环形山。泰坦上的环形山极为罕见，表明那里的地表较为年轻。



泰坦上的环形山

6月，卡西尼探测器利用红外成像技术，在泰坦上发现了冰火山存在的证据，这种火山会喷发出冰和甲烷的混合物，是泰坦大气中甲烷的来源之一。



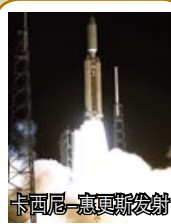
泰坦冰火山的红外图像

1655年 1944年 1980年 1997年 2004年 2005年 2005年 2005年 2005年 2006年



柯伊伯

美国天文学家赫拉德·柯伊伯发现，泰坦上存在大气，其中甲烷产生的大气压强约为100毫巴。这是首次在地球以外的固体星球上发现甲烷。



卡西尼-惠更斯发射

美国国家航空航天局、欧洲空间局和意大利航天局合作的卡西尼-惠更斯探测器发射升空。7年后，探测器抵达土星，开始探测任务。目前卡西尼探测器仍在传回大量数据。



着陆点的风景

1月，惠更斯探测器在泰坦表面成功软着陆，清晰地拍到了泰坦上的甲烷河流，还成功传回泰坦地面的景色，证明着陆点曾经受到过液体的侵蚀。泰坦成了人类探测器迄今成功登陆的最遥远天体。



卡西尼拍摄的高层大气

4月，卡西尼探测器从距离泰坦表面1025千米处掠过，分析了泰坦高层大气化学构成。初步结果显示，泰坦大气中存在大量复杂的碳化合物分子。



泰坦湖泊与地球湖泊的对比

7月，卡西尼探测器利用雷达成像技术，在泰坦的极区发现了大量湖泊，这是首次在地球以外的天体上发现湖泊的存在。那里的温度低至 -180°C ，湖泊中的液体很可能是甲烷和乙烷的混合物。2007年3月，卡西尼发现了一个更大的湖泊，面积超过地球上的所有大湖。

火星探测简史

撰文 Steed

英国天文学家威廉·赫歇耳发现，火星南北两极的冰冠会随季节的变化，相应增大和缩小。其他观测也表明，火星与地球在自转周期、季节更替等许多方面比较相似。人们认为火星上可能存在生命。



威廉·赫歇耳

美国天文学家威廉·华莱士·坎贝尔首次对火星的大气进行光谱分析观测，发现火星大气中既没有水，也没有氧气，不适合生命生存。



威廉·华莱士·坎贝尔

苏联的火星2号和3号试图登陆火星。火星2号坠毁，3号成功着陆，成为第一个“活着”踏上火星的探测器。不过它不幸遭遇火星沙尘暴，仅工作了22秒，便与地球失去联系。



火星3号着陆器

美国海盗1号和2号探测器释放的着陆器成功登陆火星，携带了大量设备，对火星土壤中是否存在微生物进行了4项实验检测。其中一项给出了肯定的结果，但随后科学家发现，无生命的化学过程也可以解释这一结果。



海盗1号发回的首张彩照

美国科学家戴维·麦凯在《科学》杂志上撰文，宣布在一块名为ALH84001的火星陨石中发现了一种类似细菌的火星生物化石，引起极大争议。现在的主流观点认为，这些结构是非生命的化学现象产生的。



戴维·麦凯

18 世纪末 1877 年 1894 年 1965 年 1971 年 1971 年 1975 年 1976 年-1996 年 1996 年 1996 年



斯基亚帕雷利

意大利天文学家乔万尼·斯基亚帕雷利绘制了第一幅详细的火星地图。地图上包含许多条被他称为 canali (意大利语，意为水沟) 的线条，后来被误传为 canals (即运河)，成为火星上存在的“证据”。1909 年，新的观测否定了火星运河的存在。



水手4号

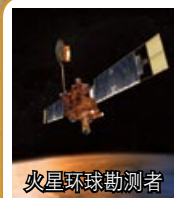
美国的水手4号探测器飞越火星，发现那里是干燥的不毛之地。探测器还发现火星没有磁场保护，强烈的紫外线可以直射表面，足以杀死任何已知的生命。这是第一个成功飞越火星的探测器。同年，苏联发射的探测2号也成功飞越火星。



水手9号拍摄的火星

美国的水手9号探测器进入绕火星轨道，成为第一颗环绕其他行星运行的人造卫星。探测器拍摄了火星全貌，确认火星上不存在运河，火星的一个半球上有许多环形山，另一个半球则比较平坦。

干燥荒芜的火星失去了魅力，火星探测事业陷入低潮。苏联在此期间发射的福波斯1号和2号、美国发射的火星观察者号全都在前往火星的途中与地面失去联系。



火星环球勘测者

美国发射“火星环球勘测者”，1年后进入绕火星轨道，开始了近10年的火星探测任务。它拍摄了火星全球的清晰影像，证实火星不像地球这样拥有一个全球性磁场，无法阻止对生命有害的宇宙线直射表面。

美国的“火星探路者”号成功着陆，并释放出第一台火星漫游车“旅居者”。漫游车在火星上漫游了85天，传回大量证据，暗示火星过去一段时期曾经温暖潮湿，拥有浓厚的大气。



旅居者漫游车

美国的奥德赛探测器成功进入绕火星轨道。2002年，NASA宣布奥德赛上的伽马射线谱仪和中子谱仪探测到了大量的氢，表明火星南极到南纬60度地区，地下1米~3米处存在大量的水冰。不过这一结果仍然受到广泛的质疑。



奥德赛探测器

欧洲空间局的火星快车成功进入绕火星轨道，它所携带的猎兔犬2号却在着陆火星时失踪。2004年，火星快车在火星大气中检测到分布不均匀的微量甲烷，为火星上可能存在生命提供了新的证据。2005年，火星快车又检测到了微量的甲醛，同样可能与生命有关。



火星快车

3月，NASA宣布，如果火星南极冰冠全部融化为液态水，足够淹没整个火星表面，形成一个深达11米的海洋。



火星南极冰冠

NASA将发射“火星科学实验室”漫游车，预计2010年登陆火星，接替目前的火星漫游车继续执行火星考察任务。它的设计寿命为1个火星年（大约为2个地球年）。



火星科学实验室

1997年 2000年 2001年 2003年 2003年 2006年 2007年 未来计划 2007年 2009年 2009年



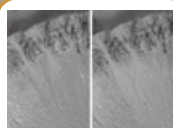
马林和埃杰特

根据火星环球勘测者的数据资料，美国科学家迈克尔·马林和肯尼思·埃杰特在《自然》上发表文章，宣称在火星上找到的类似洪水冲沟的结构，是由仍在流动的地下水造成的。不过2006年月球上发现了类似的结构，暗示这也可能是微陨石撞击的结果。



勇气号漫游车

美国的勇气号和机遇号火星漫游车先后登陆火星。2004年3月，NASA宣布机遇号发现有力证据，证明火星过去曾是一颗湿润的行星。原本设计寿命为90天的漫游车，至今仍活跃在火星表面。



相隔6年出现的新沟渠

NASA公布了火星环球勘测者拍摄的照片，显示火星一座环形山的山壁上出现了原本没有的新沟渠，证明现在的火星表面仍然不时有液态水流淌。也有科学家质疑，认为陨石可以解释这一现象。同一年，火星环球勘测者与地面失去了联系。



凤凰号着陆器

NASA将在8月发射凤凰号火星着陆器，预计2008年在火星北极地区富含水冰的地方登陆。此行将钻探火星的极地，在地下冰层中寻找火星过去的气候记录。



福波斯探测器

中国和俄罗斯将联合发射福波斯探测器，在火星的一颗卫星上着陆，并采样返回地球。中国将搭载一颗小卫星，进入绕火星轨道，执行火星空间环境的探测任务。

唤醒植物人

撰文 史蒂文·洛雷 (Steven Laureys)
翻译 冯泽君

只要及时进行针对性治疗,那些有机会康复的植物人就有可能在 1 个月内苏醒过来。然而,即便是经验丰富的医生,也很难判断某位植物人能否康复,正因为如此,不少本来可以恢复意识的植物人没有得到及时的治疗,永远失去了苏醒的机会。不过,最新的医疗诊断技术,将帮助人们唤醒植物人。

随着医疗技术的进步,越来越多的急性脑损伤病人得以继续生存。对于在车祸中大脑受创或溺水导致脑缺氧的病人,医生都能保住他们的性命。不过,如果伤势太重,病人就可能昏迷。昏迷期间,病人无法睁开双眼,四肢也只能完成条件反射性活动。昏迷一般会持续 2 ~ 5 周,未能苏醒的病人,要么死亡,要么进入植物状态——虽已摆脱昏迷状态,可是没有任何意识。

权威专家面对植物状态时也往往一筹莫展。因为病人一旦进入植物状态,知觉的两个重要组成部分就完全分离:觉醒完好无损,意识(包括思维和感觉)却消失了。觉醒是指处于植物状态的病人仍然具有睡眠和清醒周期。醒着的时候,他们的眼睛是睁开的,有时会四下张望;其他时候眼睛闭着,就像睡着了一样,但一碰到他们,或对他们讲话,眼睛就可能睁开。这些病人一般能自主呼吸,还能做一些自发性动作,比如磨牙、吞咽、哭、笑、抓别人的手、小声嘀咕以及呻吟等。不过,这些动作只是反射性的,并非有意为之。病人通常不会死盯着某一物体,但有时,



■大脑受到严重创伤的病人一般都会昏迷，很多病人会在1个月内苏醒过来。没能及时苏醒的病人很可能进入了植物状态：他们虽然有正常的清醒睡眠周期，却没有任何意识。

他们的目光也会短时间地追踪一个移动的物体，或是朝传来响声的方向看去。

很多“植物人”会在大脑受伤后的一个月内恢复意识，否则就会进入“持续性植物状态”(PVS)，时间越久，恢复意识的可能性越小。中国每年有60多万急性脑损伤病人，其中有不少没能在一个月内恢复意识。1994年，专项研究PVS的多学科联合会(一个研究团队，由11个来自不同研究所的科学家组成)得出了这样的结论：如果大脑受到外部创伤后一年，或者脑缺氧损伤后6个月，病人仍无恢复意识的迹象，苏醒过来的机会就几乎为零。对于这些病例，联合会认为应该叫做“永久性植物状态”。

2005年，因为一位女性植物人，政府官员们展开了一场争论，将PVS的研究状况暴露在媒体的聚光灯下。这位病人就是美国佛罗里达州的泰里·夏沃(Terri Schiavo)。1990年，夏沃成为植物人，她的父母和丈夫都不知道她能否恢复意识，并在这一点上产生分歧。2005年，法庭作出判决：允许医生撤掉进食管道。13天后，夏沃脱水而死。由于这场风波，人们才认识到，开发一种有效判断植物人能否苏醒的方法已迫在眉睫。近年来，科学家们开始应用脑成像技术，在没有反应的病人身上寻找意识的“蛛丝马迹”。如果医生们拥有了检测意识的方法，就可以准确区分哪些脑损伤病人有机会恢复、哪些病人希望渺茫。同时，这项研究本身也有助于了解意识本身。

概述 / 植物状态

- ◆目前，中国每年都有60余万急性脑创伤病人，有些只是昏迷，有些不幸的病人却进入了植物状态。如果处于植物状态的时间超过一年，病人恢复意识的几率几乎为零。
- ◆研究人员不断尝试将脑成像技术应用于植物状态的诊断，希望帮助医生判断哪些脑损伤病人有机会康复。
- ◆植物人的功能性神经成像为揭示意识的本质提供了线索，但是，以此作为诊断工具还有很长的路要走。

困难的诊断

植物人无法与人交流，医生的检查即使非常仔细，也有可能忽略意识的存在。近年来，科学家一直在寻找客观高效的检测方法，以免在诊断植物状态的过程中出现差错，磁共振扩散张量成像、脑电图技术便是其中的代表。

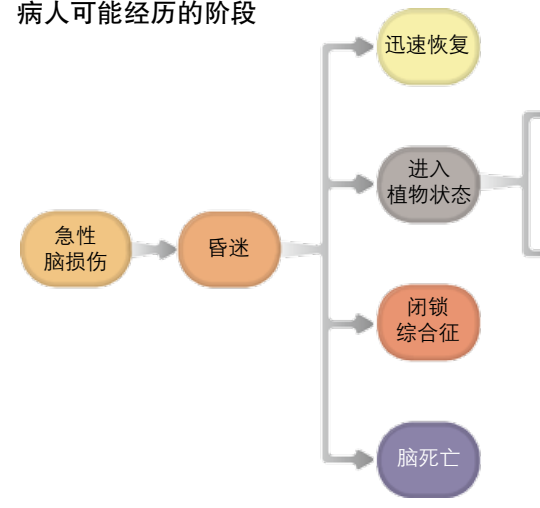
那些摆脱了植物状态的病人，最初表现出来的意识活动都非常细微，随着时间的流逝，才慢慢明显起来。一开始，病人会有意识地做一些非反射性动作，但仍然无法表达情感、交流思想，这就是医学上的“微意识状态”。同植物状态一样，处于微意识状态的病人既可能很快恢复意识，也可能长期甚至永远处于这种状态。不过，和前者最大的区别在于，即使病人常年处于微意识状态，仍有机会康复。美国阿肯色州的男性病人特里·沃利斯(Terry Wallis)就是一个典型的例子。1984年，沃利斯不幸遭遇车祸，此后便进入了微意识状态。但在2003年，他又能开口说话了，虽然还不能走路，而且需要全天候看护，不过他的四肢已恢复了部分活动能力。

区分植物状态和微意识状态并不容易，即使经验丰富的医生，也需要反复检测才能作出判断。缺乏意识行为是植物人的典型特征，这也是医生诊断病情的依据。简单地说，如果病人看起来是清醒的(眼睛是睁开的)，但一直无法执行某一指令(如“掐我的手”或“朝下看”)，只能做一些反

醒着却没有意识

受到脑损伤的病人昏迷后，可能进入以下几个阶段(如图)。如果没有死亡，病人很可能进入植物状态。(少数情况下，患者会持续昏迷或者演变为闭锁综合征，即全身

病人可能经历的阶段



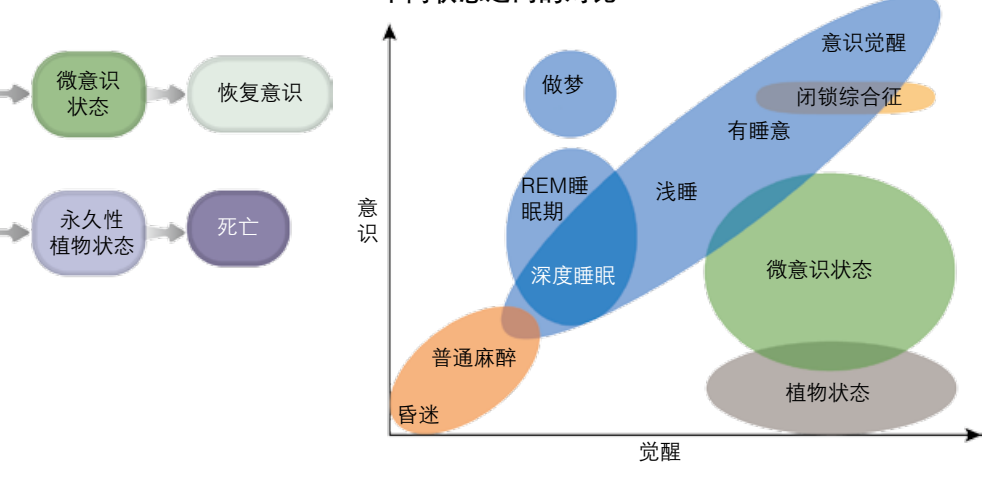
射性动作，医生就会认为这位病人已经处于植物状态。

上世纪90年代初，美国得克萨斯州奥斯汀市卫生保健康复中心的南希·蔡尔兹(Nancy Childs)和英国伦敦皇家神经障碍医院的基思·安德鲁斯(Keith Andrews)的研究显示，经过仔细检查，在最初被确诊已进入植物状态的病人当中，超过1/3的病人都表现出了些许意识的迹象。为了得到更可靠的诊断结果，医生们需要对病人进行标准化临床测试，检测他们对各种听觉、视觉以及触觉刺激的反应，比如美国新泽西州爱迪生市乔纳森森复健研究所约瑟夫·贾奇诺(Joseph Giacino)制定的昏迷恢复量表、皇家神经障碍医院的海伦·吉尔-思韦茨(Helen Gill-Thwaites)发明的感觉特征复原评估技术等。在诊断方面，这些意识检测标准的有效性毋庸置疑，但和常规的神经学检查，或者格拉斯哥昏迷量表(Glasgow Coma Scale)之类的简单测试相比，就太费时间了。

知觉意识是主观体验，本身就很

自主肌肉完全麻痹。)之后患者不是转入微意识状态并逐渐恢复意识,就是一直停留在植物状态。和其他几种精神状态相比,植物人的清醒程度很高(和昏迷病人相比,他们有清醒/睡眠周期),但他们并没有意识。

不同状态之间的对比



难由旁人评测。对急性脑损伤和无法交流的病人而言,就算检查得再仔细,也有可能忽略意识的存在。过去10年,研究人员一直在努力寻找客观的检测方法,以避免在诊断植物状态的过程中出现差错。借助X射线计算机断层扫描技术(x-ray computed tomographic scanning)或磁共振成像技术(magnetic resonance imaging, MRI),医生可以观察大脑的结构,确定大脑的损伤程度,但这两种技术都不能检测意识。不过科学的进步带来了转机,最新研究表明,利用磁共振检查得到的图像,医生可以预测脑外伤患者能否从植物状态醒过来。比如,脑干、胼胝体(连接大脑半球的带状组织)等特定脑区受到损伤的病人,苏醒的几率一般都很小。

磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是近年才出现的新技术,可以检测大脑白质(由大量神经纤维组成)的完整性。利用这种技术,研究人员更加清楚地“看到”了病人从植物状态恢复的生理机

制。美国康奈尔大学尼古拉斯·希夫(Nicholas Schiff)最近的研究就是一个典型的例子:他领导的研究小组利用扩散张量成像技术,检测到沃利克斯大脑内的轴突居然在重新生长。

另一种比较常用的技术是用脑电图(EEG)监测大脑的电活动。EEG的结果可以显示病人的觉醒状态,因为在安静睡眠时期,大脑的电活动就会减弱。脑电图可以确诊昏迷中的病人是否脑死亡(当EEG无法显示出电位差,即变成一条直线时,可认作脑死亡)。不过,EEG并不能可靠地监测意识的变化情况。对于植物人,脑电图既不能确诊患者所处的状态,也不能预测病人康复的几率。我和比利时列日大学的同事已经证实,微意识

状态病人在听到自己的名字时,会产生一个被称为P300电位的脑电活动。然而,有些处于长期植物状态的病人也会出现类似的P300反应,因此,这种技术在这方面似乎没什么诊断价值。

关键的联系

在健康人的大脑中,大脑区域之间的功能性连接以及大脑深部的中心结构(特别是丘脑)对意识的产生至关重要,然而在植物人的大脑中,很多重要的联系似乎中断了。

功能性神经影像技术(functional neuroimaging)也许是研究植物状态最具前景的方法。正电子发射断层显像技术(PET, 功能性神经影像技术之一)可以监测大脑的代谢活动,比如检测大脑对葡萄糖的消耗量。利用PET所作的研究表明,植物人大脑代谢活动比较弱,强度还不足正常人的二分之一。20世纪80年代,美国康奈尔大学弗雷德·普拉姆(Fred Plum)领导的研究小组首先开始进行此类实验,后来,包括我们在内的一些欧洲组织又重复了这些实验,证实了上述现象。但是,我们的实验室在20世纪90年代后期也发现,有些病人从植物状态恢复后,大脑的代谢活动并没有发生实质性改变。

我们还注意到,一些健康自愿者与某些植物人的大脑代谢值很相近。希夫也曾报道,少数植物人的大脑皮质代谢水平几乎与正常水平一致。因

本文作者

史蒂文·洛雷是比利时列日大学回旋加速器研究中心昏迷研究小组的负责人,也是列日大学Sart Tilman分校医院神经病学学科门诊部的负责人。1993年,他获得比利时布鲁塞尔自由大学医学博士学位,2000年在列日大学获得哲学博士学位。他的研究受到比利时国家科学研究基金、欧洲委员会等机构的资助。洛雷最近还出版了专著《意识的边界:神经生物学与神经病理学》。

本文译者

冯泽君,上海复旦大学神经生物学在读博士。

此，大脑内能量消耗的整体水平与意识存在与否并没有太大联系。

不过，大脑中的某些区域确实对意识的产生有着重要的意义。多觉联合皮层（polymodal associative cortice）位于大脑额叶和顶叶，分布广泛，经常参与感觉信息的认知过程。在比较了植物人和很多健康自愿者之后，我们发现前者的多觉联合皮层网络的代谢活动明显偏弱，而且，意识与某些大脑区域（即额顶网络）内的功能性连接以及大脑深部的中心结构（特别是丘脑）有关。在植物人的大脑中，皮层之间的远距离联系、皮层与丘脑间的联系似乎都已中断。此外，意识的恢复必然伴随着种种网络连接的重建。

让我们感到无奈的是，处于微意识状态的病人也存在类似的大脑功能失常。因此，当病人处于安静状态时，PET 测出的代谢结果无法区分植物人与微意识状态中的病人。只有在给病人施加某种外部刺激，比如疼痛或语言刺激时，分析此刻的大脑功能变化，PET 测试的结果才会有所不同。

我们用电击产生疼痛的方式，来刺激植物人和对照组中的正常人，同时用 PET 技术测量所有人脑中的血流量——这也是神经活动的一项指标。结果显示，疼痛刺激后，植物人和正常人的脑干、丘脑及初级感觉皮层都接收到了外周神经传来的感觉信息。然而在植物人的大脑中，除了初级感觉皮层以外，其他脑区都没有对刺激作出反应。初级感觉皮层似乎被孤立起来了，和其他区域，尤其是与痛觉意识相关区域的联系中断了。这些结果也让医生认识到，植物人与正常人感受疼痛的方式有所不同。

植物人受到声音刺激时，PET 测试也可以得到相似的结果。和疼痛刺激一样，对声音作出反应的大脑区域仅仅局限在初级听觉皮层，高级的多

觉区域根本没有反应。如此水平的大脑处理过程还不足以产生听觉意识。但是，在微意识状态病人中，听觉刺激可以引发大规模的、高级的大脑皮层活动，这种现象在植物人中是看不到的。希夫是第一个用功能性磁共振来研究微意识状态病人的科学家。他发现，如果用熟悉的嗓音向病人讲述一个对他很有意义的故事时，病人大脑的语言网络就会被激活。如果换成陌生的声音讲述故事，就不会引起这种反应。但对正常人，陌生声音也可以引起反应。

与此相似，我们小组在 2004 年发现，比起毫无意义的噪声，极富感染力的声音（如婴儿的哭声、病人的名字）可以在微意识状态的病人大脑内引起更加广泛的反应。以上结果说

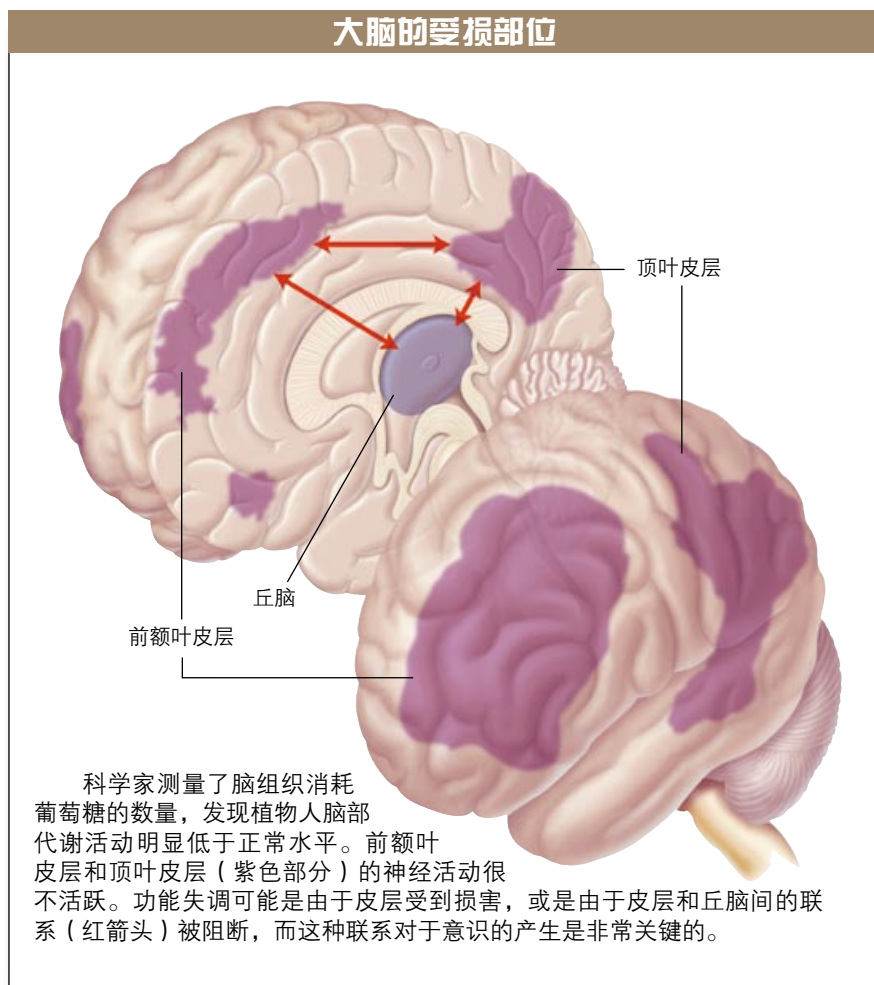
明，声音携带的内容确实会影响微意识状态病人的反应。但是，若要把此项技术发展为一个诊断工具，我们首先要证明，复杂的听觉刺激在植物人的大脑内无法引起大规模的反应。

真实的案例

利用功能性磁共振检测，科学家对一位 23 岁的女性植物人进行检测，成功地判断出这位病人大概有 20% 的几率可以康复。这是否意味着成像技术已经可以运用于实践了呢？

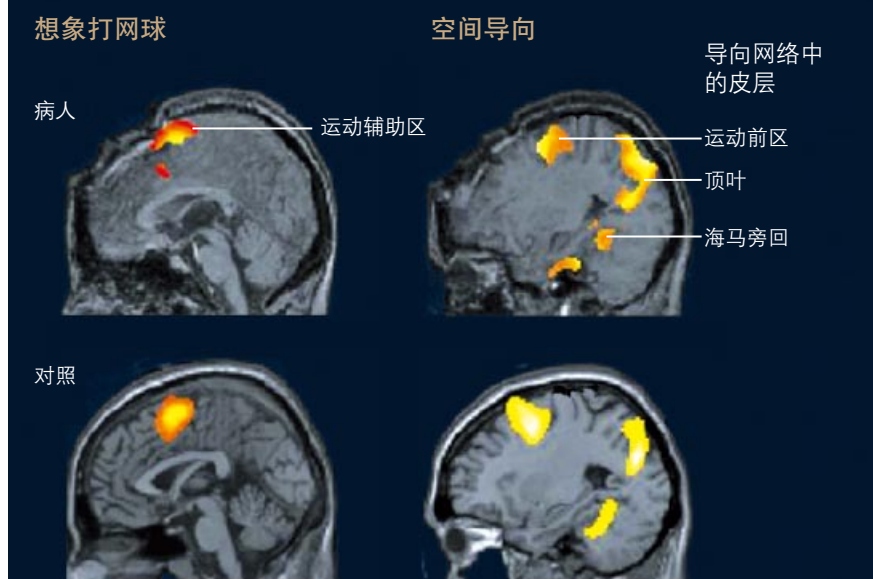
2006 年，上述假设经历了严峻的考验。英国剑桥大学阿德里安·欧文（Adrian Owen）的研究小组和我们研究小组的梅拉妮·博丽（Melanie

大脑的受损部位



恢复的迹象

一名23岁脑损伤女性病人的功能脑成像图：当她按照医生的指令，想象自己在打网球时，大脑运动皮层表现出活动的迹象（左）；想象自己在家中走动时，空间导向神经网络也处于活跃状态。正常人显示了与病人相同的反应，这说明患者可能开始从植物状态转入微意识状态。



Boly) 合作，对一位23岁女性病人进行研究。她在车祸中受到严重脑外伤，昏迷一星期后，进入了植物状态。有时她会睁开眼睛，但对任何语言和非语言指令都没有反应（参见<http://www.sciam.cn/article.php?articleid=346>）。

车祸发生5个月后，欧文和同事对病人大脑作了功能性磁共振检测。在扫描过程中，研究人员向病人播放了一段正常录音，为了有一个参照，他们还播放了一段与上述录音节奏相吻合的噪音。结果发现，正常录音可以引起病人颞上回和颞中回的反应，这两个脑区与词意和语意的理解有关。在健康人中也可以检测到同样的反应模式。这一结果说明，这位病人的语言意识很可能开始恢复，但也不一定如此——健康人在睡眠或者深度麻醉时也可以被诱发出类似现象。

为了证明这名病人是否有语言意识，研究人员又进行了第2个实验。在这次试验中，病人需要完成的任务

就是想象。当研究人员让病人想象自己正在打网球时，功能性磁共振检测显示大脑的辅助运动区被激活，这一结果和正常人的反应一致。接着，研究人员让她想象在自己的房间走动，结果与空间导向有关的神经网络被激活了，其中包括前运动皮层、旁海马皮层和顶叶皮层。这一结果也和正常人一致。尽管该病人已被临床诊断为植物人，但她能理解任务要求，并能多次完成任务，因此她的意识肯定还未丧失。

看到检查结果，我的第一反应就是怀疑病人被误诊了。在实验期间，多位专家都认为她已经处于植物状态，不过她的目光偶尔会短暂停留在

某一物体上。有时植物人也会做出这种行为，这不是存在意识的典型表现，因此医生们还得寻找意识的其他表现形式。在6个月后的检查中，这名病人可以较长时间（长于5秒）盯住一个物体，而且还会找寻自己在镜子中的影像，这些都是她已经转入微意识状态的标志。目前她还处于微意识状态中，时而会听从指令，但还是无法与人交流。

考虑到这位病人比较年轻，处于植物状态的时间不长，我们从一开始就知道她大概有20%的几率可以康复。因此我们的研究不应该被误解为，所有长期处于植物状态的病人都是有意识的。事实上，在比利时列日大学，我们对其他60多名植物人进行功能性磁共振扫描时，还没有看到任何相似的意识特征。对这位23岁病人检测结果的最好解释就是，在检测时她已经进入微意识状态。其他的研究结果也证实，在功能性磁共振测试中，高级脑区的激活可以预示病人进入了微意识状态。

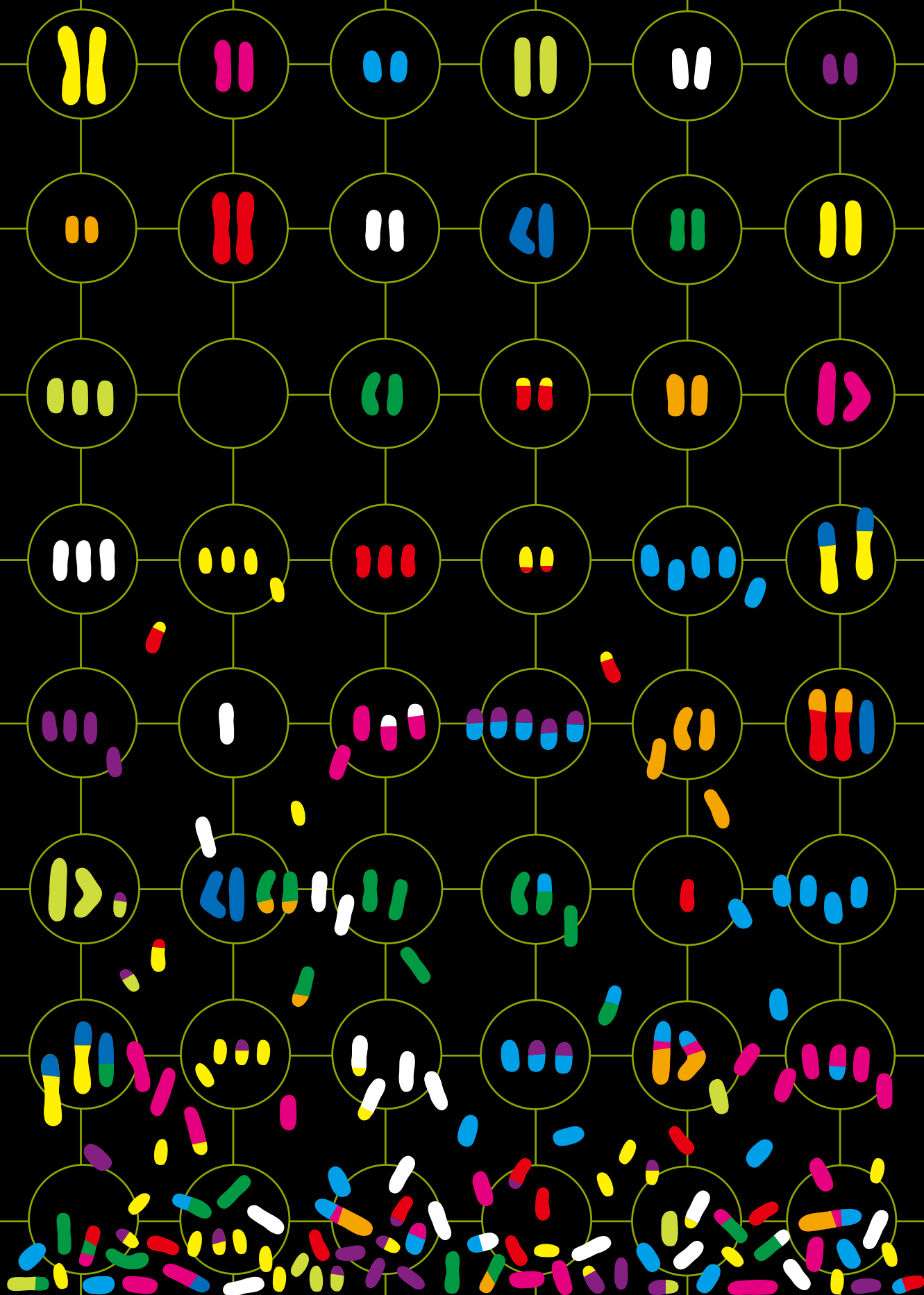
以上发现说明，探究意识是一件很困难的事。借助新型成像技术检测脑损伤病人的神经活动，我们得到了很多有用的信息，但是科学家们要作更多的研究，才能将功能成像技术应用于植物人的临床诊断，从而为治愈这一重大疾病奠定基础。但就目前而言，植物状态仍然难以准确诊断，要得到相对准确的诊断结果，还得依赖经验丰富的医生们进行仔细的临床检查。SA

扩展阅读

The Vegetative State: Medical Facts, Ethical and Legal Dilemmas. B. Jennett. Cambridge University Press, 2002.

Science and Society: Death, Unconsciousness and the Brain. Steven Laureys in Nature Reviews Neuroscience, Vol. 6, No. 11, pages 899–909; November 2005.

Detecting Awareness in the Vegetative State. A. M. Owen, M. R. Coleman, M. Boly, M. H. Davis, S. Laureys and J. D. Pickard in Science, Vol. 313, page 1402; September 8, 2006.



■按照迪斯贝格的理论，如果细胞受到致癌物质等环境因素的影响，染色体数目异常增多或者丢失，就会扰乱细胞的正常机能。大多数染色体发生混乱的细胞都会走向死亡，但是，那些存活下来的细胞很可能恶变为癌细胞，最终引发癌症。

癌症病因 的最新讨论

一个世纪前，两位德国科学家发现，染色体紊乱可能是癌症的直接成因，但这一发现没有得到应有的关注，因为科学界的主流观点认为，基因突变才是引起癌症的真正原因，染色体紊乱只是癌症发生的结果。随着检测技术的进步，越来越多的发现和证据与主流理论背道而驰，科学家不得不重新审视 100 年前的那个发现：难道染色体紊乱真是癌症的成因而非结果？

撰文 彼得·迪斯贝格 (Peter Duesberg)
翻译 胡晨
审校 李锦军

20 世纪 60 年代初，作为一名博士后研究人员，我开始研究癌症。当时，很多著名科学家都认为，病毒是引发绝大多数肿瘤的罪魁祸首。因为科学家们发现，一些病毒感染细胞后，会将自身的遗传物质插入细胞的基因组，引起细胞的恶性转化和异常增殖，最终导致白血病等癌症。那时候，我乐观得近乎于天真，以为只要弄清楚了病毒诱发癌症的分子机制，就能研制出相应疫苗，彻底消灭癌症。

在这场抗击癌症的战役中，我也做出了不小的贡献。1970 年，我和赖明诏 (Michael Lai)、彼得·沃格特 (Peter Vogt) 合作，从鸟类劳氏肉瘤病毒 (avian Rous sarcoma virus) 中分离出了一个特殊的基因——src，它很可能就是引发肿瘤的真凶。几年之后，一些科学家有了进一步的发现，在动物 (包括人类) 的 DNA 中，竟然存在一个与 src 极其类似的基因！一个新的癌症理论模型诞生了：如果受到外界刺激，人类基因组里的 src 基因发生了突变，它就会像病毒基因一样，拥有强大的致癌能力。具有潜在致癌能力的基因就像一颗颗“定时炸弹”，埋藏在人类基因组里，随时可能爆发。它们为自己赢得了一个响亮的名号——“原癌基因” (proto-oncogene)，一旦发生突变，原癌基因就会变成癌基因。

过去 30 年，“关键基因的突变是所有癌症根源”的论调一直统治着学术界，科学界形成了这样一个观点：只需要几个癌基因，就能使正常细胞转化为癌细胞。但是，包括我在内的很多科学家，花费了 30 年的时间，都没能找到支持上述观点的证

据。由于深受癌基因模型的影响，科学家只见树木，不见森林：在所有已知的肿瘤中，某些基因的确发生了突变，然而承载着数千个基因的染色体同样伤痕累累——复制失常、屡屡断裂、结构重排甚至整体缺失。越来越多的证据显示，染色体的混乱状态并非恶性转化的副作用，而是癌症发生的直接原因和推动力，这与主流观点截然不同。

与美国、欧洲的同事一起，我们花了 10 多年时间探索染色体混乱与癌症的关系。近年来，我们得到的支持越来越多，不少研究人员经过研究，也得出了相似结论：染色体数目与结构的改变足以引发某种癌症，而单个基因的突变则没有如此强大的力量。这一理论为癌症的预防、治疗以及前期诊断指明了新方向。而且，癌细胞和肿瘤表现出的某些特性是癌基因模型无法解释的，但“染色体理论”却能作出比较合理的解释。

谁导致了癌症？

每条染色体都是数千个基因的载体，染色体一旦发生改变，就会引发连锁效应：基因数量改变，蛋白质的合成受到影响，细胞机能紊乱，接着转变成恶性细胞，癌症随即发生……

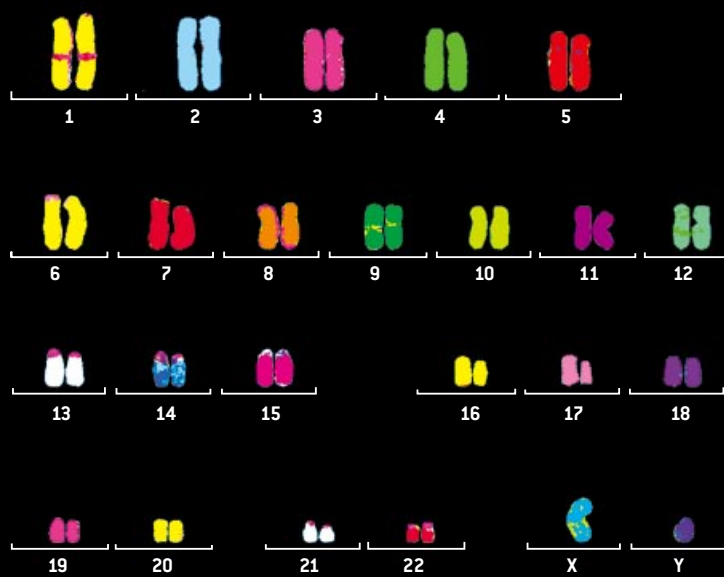
为什么我们会提出癌症的染色体理论？部分原因在于，我们一直在思考这样的问题：一个正常的人类细胞为什么是“正常的”，为什么会是“人类的”，到底是哪些生物学特征赋予细胞这样的自然属性？对于染色体，自然界是极端保守的，不会轻易改动。染色体是一部完整的生命百科全书，每个物种都有一套独特的染色体（即染色体组），对于物种的存在，染色体具有决定性作用，而且它会始终保持稳定。有性生殖迫使物种的染色体组具有很强的保守性，因为胚胎的发育依赖于染色体的绝对一致性——如果染色体变异，或错误配对，细胞几乎只能选择死亡。不过，凡事都有例外，唐氏综合征（Down syndrome）就是一个罕见例子。患有这种疾病的病人，仅仅因为细胞内多了一条很小的21号染色体，就不得不承受先天弱智的痛苦。

概述 / 畸形的细胞周期

◆目前，主流观点认为，某些重要调控基因发生突变，扰乱了细胞的自我调节机制，就会导致癌症。但对于有些现象，这一理论无法解释：在癌变过程中，个别基因的突变是如何使染色体发生大规模改变的。

◆作者坚持的观点是，染色体发生改变后，它携带的数千个基因同时发生了变化，打乱了细胞内的平衡，使染色体的混乱状态更加严重。这也能解释个别基因活性的改变所无法解释的恶性细胞特征。

正常细胞

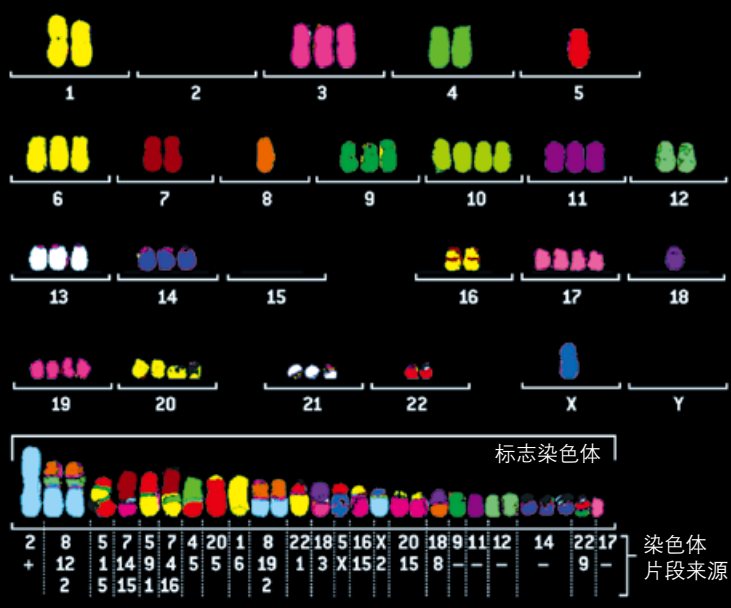


有序与混乱：正常人的一套染色体，或称染色体组（核型），一般包括23对标准的染色体，然而所有癌症细胞都呈现非整倍体、不规则的核型（右图）：一些染色体整体缺失，或获得了多余的拷贝，还有很多染色体之间发生了片段

相对而言，在动物体内，单个基因经常发生变异，例如单核苷酸多态性（Single nucleotide polymorphisms, SNPs），大部分是 DNA 序列上单个核苷酸发生的有益突变，这种突变散布在每个人的基因组上，还可以遗传给后代。

癌细胞和正在癌变的细胞都会违背“染色体组稳定”这一自然法则。正常的人类细胞都是二倍体，因为它们都携带了两套人类所特有的染色体，而癌细胞都是非整倍体的（也就是说癌细胞内的染色体套数不能被 1 整除），这就是说它们要么多了几条或几段染色体，要么缺失了一些。由于是非整倍体细胞，癌细胞内的 DNA 总量有可能比正常二倍体细胞多一倍或者少一半。在这种情况下，细胞内各种蛋白质的含量将大幅改变，因为编码蛋白质的基因数量会随着染色体的改变而改变：染色体增多，基因数量也增多，反之亦然。在细胞内，各种类型的酶蛋白相互配合，共同完成着一些重要工作，比如修复 DNA、清除受损 DNA。蛋白质数量的严重失衡，将不可避免地扰乱原本协调的工作环境。这样一来，细胞的内在结构和调控系统就变得不稳定了。纺锤体（spindle apparatus）是细胞内最复杂、协调最精细的蛋白团队，同时它又最脆弱。在细胞有丝分裂的过程中，纺锤体的作用是隔开染色体，但非整倍体一旦形成，纺锤体就无法处理多出来的染色体，染色体组就

肿瘤细胞



的交换。其中一些被称作标志染色体，可以在肿瘤细胞中观察到它们独特的结构重组形式，说明这些改变可能导致癌症。图中每段染色体下面的数字表示片段来源的染色体编号，加号和减号分别代表大于或小于正常的染色体。

会更加紊乱。

这也可以解释为何在同一肿瘤中，不同细胞会有不同的染色体组合与变异，每个细胞都变得与众不同。因为本身的不稳定性，肿瘤细胞拥有了更多的自由空间，能够演化出新的特征和行为方式，而不像正常细胞，只能遵从自然规律，按照预先设定的程序，逐步发育出与所属器官或组织相适应的特征。由于拥有了突变的“特权”，非整倍体细胞变得“桀骜不驯”，开始推卸作为一个细胞应该承担的职责，甚至以牺牲其他正常细胞为代价，大量增殖，独霸一方。

总的来说，癌细胞会变得越来越邪恶。在癌变的过程中，细胞的大小、形状、代谢方式和生长速度都变得极为异常。癌症至今仍然是绝症，主要原因就是癌细胞具有极强的变异能力和变化多端的表型。例如，抗癌药物刚刚消灭了一批癌细胞，具有耐药性的变异细胞会立即填补空缺。用单种药物对付复杂的癌细胞群体，就等于想用一种药物包治百病；另外一个原因，则是癌细胞具有侵袭周围组织和扩散到全身的“超能力”——也就是医学中的“转移”。

在每一种癌症中，所有恶性细胞其实都来源于同一个病变的母细胞。在某个肿瘤的绝大多数细胞中，染色体异常的方式非常一致，说明这些细胞有一个共同的来源，科

学家由此提出了肿瘤的克隆起源学说。但正常的细胞为什么会发生变异，它的表型和染色体为什么会变得不稳定，以至于引发致命的肿瘤？科学家需要找到一种理论解释这个问题。

直到 50 年前，大多数科学家还认为，异常染色体引发了癌症。这一观点能得到认可，要归功于两位德国科学家。19 世纪末 20 世纪初，戴维·冯汉泽曼（David von Hansemann）和特奥多尔·博韦里·冯汉泽曼（Theodor Boveri Von Hansemann）在柏林研究癌症时，发现所有癌细胞都含有异常染色体。仔细观察了海胆胚胎的发育过程后，博韦里推测，染色体是遗传信息的承载体。因为他发现，在细胞分裂时，如果某些环节出错，导致染色体损伤，或者染色体不能平均分配到两个子代细胞中，细胞就会恶化。博韦里将这样的畸形胚胎比作肿瘤，1914 年，他就预言：某些染色体数量的增加或减少会导致癌症。

但这一理论被冷落了半个世纪之久。因为以当时的技术条件，无法在癌细胞中检测到染色体混乱的现象。由于没有观察到染色体改变的一致性，染色体混乱被解释为细胞恶变的结果，是由一种未知因素造成的。

长期以来，一些总被忽略的证据不断提醒科学家，非整倍性在癌症发生和恶化过程中发挥着重要作用。实际上，细胞的非整倍化程度还可作为评价指标，当医生从人体组织提取一些异常细胞，评估它们的恶化几率时，就需要检测染色体的非整倍化程度。一旦细胞异常增殖的产物被界定为肿瘤或赘生物时，高度非整倍化就是细胞恶化的象征。

生物技术日新月异，拥有了先进技术的科学家也开始重新思考几十年前的老问题：能否在癌细胞内检测到特异染色体的改变？很多研究人员迫不及待地展开了研究。甚至连癌基因理论的坚定支持者，在研究肿瘤的非整倍体现象时，也发现染色体改变是恶性肿瘤的驱动力，而某些基因突变则没有这样的作用。染色体一旦发生改变，似乎就能创造出无数具有新表型的癌细胞，这一现象与过去 10 年得到的实验数据，激起了我和同事们的强烈兴趣，癌细胞为什么会如此不稳定性，造成染色体混乱的原因又是什么，这些问题的答案，将会让我们真正了解染色体理论。

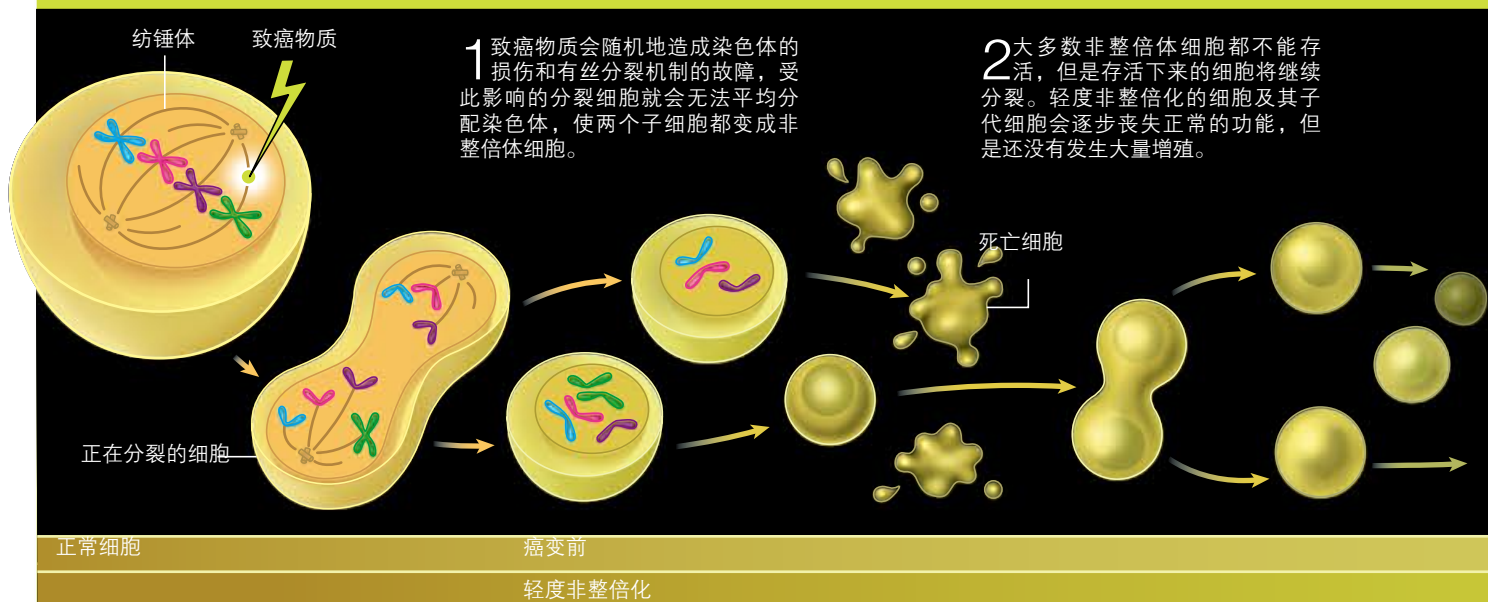
► 环球科学小词典

单核苷酸多态性指人类个体或人群中存在的 DNA 序列单个碱基的差别，多态性一词在生物学上是群体的概念，常指群体中某一遗传特征存在着多种形式。

有丝分裂指在细胞分裂过程中，纺锤体发射出纺锤丝，从而牵引染色体运动，完成细胞的分裂，哺乳动物的体细胞（除生殖细胞外）都是靠有丝分裂进行增殖的。这种方式一共包括 4 个阶段：前期、中期、后期和末期。

非整倍体如何导致肿瘤?

细胞内染色体的数目异常造成了更多染色体损伤和混乱,于是每一代子细胞越加不稳定,并逐渐发展出恶性细胞的特性。



由果溯因

是什么原因造成了染色体的混乱状态? 科学家研究了很多癌症患者的癌细胞,发现染色体的改变有一个共同的特点:染色体的数量要么有增加,要么有减少。这就说明,染色体数量的改变可能就是问题的答案。

本文作者

彼得·迪斯贝格是美国加利福尼亚大学伯克利分校的分子及细胞生物学教授(德国籍),1964年赴美从事病毒学研究。此后6年,他从劳氏肉瘤病毒中分离了首个确证的癌基因,绘制了整个病毒的遗传图谱。后来,他又在10多个鼠类和禽类肉瘤病毒中完成了类似工作。1986年,迪斯贝格当选美国科学院院士。1987年,他研究了逆转录病毒后,得出结论:患艾滋病是因为接触了某些化学物质以及营养不良,而HIV只是“旁观者”。对癌症病毒的研究是他现阶段的工作,正是因为这一领域的研究,促使他提出单独的基因突变不足以导致细胞恶性转化的理论。

作为一个病毒学家,迪斯贝格因提出HIV并非艾滋病病因的观点,而为人熟知。这个结论遭到了生物医学界的普遍反驳。不过,关于“染色体不稳定性是癌症病因”的观点虽然存有争议,却是目前的研究热点之一,我们因此邀请迪斯贝格来介绍这些工作。这篇文章与《环球科学》是否认同他的艾滋病理论无关。

本文译者

胡晨,浙江大学医学院在读博士,目前从事肿瘤干细胞研究。

本文审校

李锦军,上海交通大学医学院肿瘤分子病理学教授,博士生导师。目前任职于该校肿瘤研究所癌基因及相关基因国家重点实验室,主要研究领域包括肿瘤相关基因的基础研究、肿瘤转移分子机制、肿瘤干细胞等。

我们的研究策略是,收集和分析与基因突变理论最不相符的癌变特点,也就是查看现行理论无法解释的特殊案例,希望能找到更完善的理论法则。我们最终发现,只用基因突变理论无法阐释的癌症特征有6种,但可以用染色体理论解释。

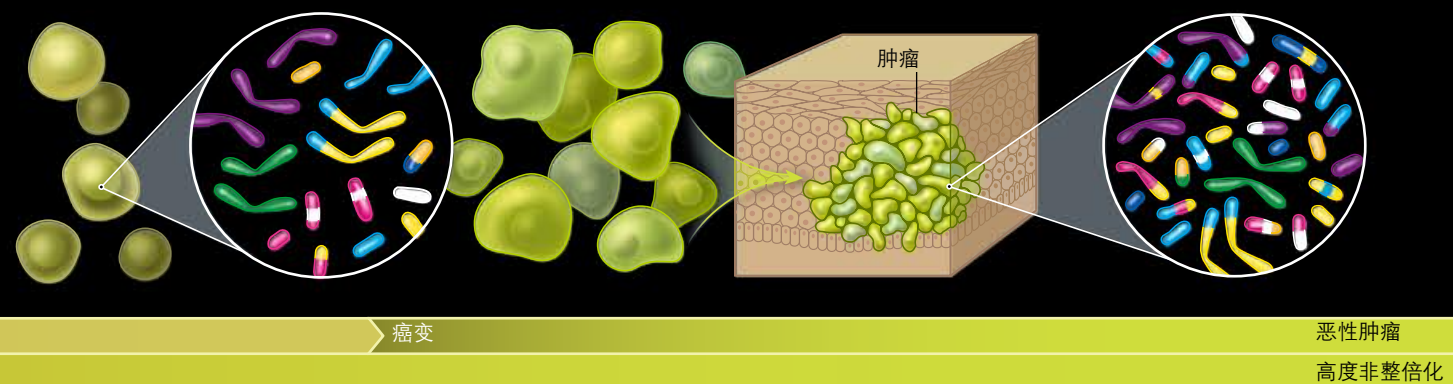
年龄越大,患癌症的几率越高。在世界范围内,平均每3人,就有一人遭受癌症的折磨,不过患者一般都超过50岁。其实,癌症基本上是一种老年性疾病,一旦超过50岁,我们患癌症的几率就会骤然上升。然而,解释癌症起源的基因突变理论,却预测癌症应该在新生儿中更为普遍。按照这一理论,大约6个关键基因的突变就能导致癌症,因此很多婴儿可能一生下来就患有癌症。假设有6个与结肠癌相关的突变基因,婴儿可能从母亲那里继承了3个,从父亲那里遗传了另外两个,这样就很有可能患上结肠癌,因为在亿万个结肠细胞中,某些细胞随时可能获得第6个突变基因,甚至还有婴儿生来就从父母那里遗传了6个癌基因。然而,结肠癌很少发生在儿童身上。即使通过基因工程的方法,刻意让小鼠从出生时就带上一组致癌突变,它们患癌风险也不比正常小鼠高。

不过,癌症也有可能发生在小孩身上,尽管几率很小。比如唐氏综合征和遗传性染色体不稳定综合征(镶嵌斑非整倍性综合症,MVA)患者。MVA儿童也有严重的智障,他们体内的细胞进行有丝分裂时,纺锤体上的缺陷就会导

3 染色体的混乱状态致使各种蛋白质数量失衡，进一步扰乱了细胞的自我调控机制和DNA的稳态维持。在这种情况下，更多的染色体发生断裂、结构重组和复制错误。

4 非整倍体程度的加重，蛋白质合成紊乱，细胞不断地呈现出恶性细胞的特质。细胞的变化包括形态异常和过度增殖，直至肿瘤形成。

5 恶性特征如侵袭周围组织、转移到远处或天生耐药的能力，可能源自细胞内进一步非整倍体化后造成的随机效应。



致非整倍体细胞的产生，随机分布在身体内，1/3 的孩子会因此患上白血病或其他癌症。

如果某人生来就是非整倍体，或有发展成非整倍体的倾向，癌症很可能会提前发生。100 年前，博韦里观察到非整倍体胚胎无法存活，最主要的原因可能是非整倍体细胞固有的不稳定性，这可能也是新生儿一般不会患癌症以及癌症不具有遗传性的原因。

致癌物需要很长时间才能导致癌症。对动物而言，很多化学药品和放射线都是致癌的，它们被认定为职业性或偶发性肿瘤的致病原因。但即使与最强的致癌剂为伍，可能也要在数年甚至数十年之后才会患上癌症。相反，当某种化学物质作用于细菌时，几小时后，细菌的表型就会出现变化；在更大更高级的果蝇中，这种效应也会在几天内出现。致癌物质使细胞癌变的过程，是逐渐进行的，而这种现象是基因突变模式无法解释的。

不管能否诱发突变，致癌物质都能导致非整倍体的产生。科学家观察了致癌剂对细胞遗传物质的即时效应，希望能找到许多关键基因的突变，结果却出乎意料：许多强力致癌剂根本没有诱发突变。他们使用过的致癌剂包括石棉、焦油、芳香烃、镍、砷、铅、塑料、某些染料、尿烷（urethane）和地高辛（dioxin）等。而且，这些致癌剂引发癌症只需要诱发突变所需剂量的千分之一。在所有实验中，有一个非常重要的现象：经过致癌剂处理后，细胞的

染色体变得非常不稳定，断裂和损坏的发生率远高于正常情况。

上述结果说明，致癌剂的实际作用是导致非整倍化，而不是导致基因突变。一开始，突变致癌理论就无法解释，不导致突变的物质为何也能诱发肿瘤。实际上，导致突变的物质诱发肿瘤，也是通过直接破坏和分割染色体的方式。（例如，辐射导致突变是通过一种间接的方式：先使 DNA 双链断裂，细胞内的修复蛋白就会开始修复损伤 DNA，在这一过程中，核苷酸序列可能发生重排，或在断裂位置引入错误的核苷酸。）芳香烃这类不导致突变的致癌物质，则是通过一种不同的机制诱导非整倍体的产生。芳香烃类物质可以破坏细胞内的微管结构，而在有丝分裂过程中，微管是分配染色体所必需的“工具”。所有致癌物质似乎有一个共同点：随机产生非整倍体。

在不同的肿瘤中，都存在非整倍体形式。如果非整倍体只是癌症的副作用，那么在不同患者的肿瘤中，染色体改变的方式应该是随机的。利用两种染色体涂染技术（chromosome-painting technologies）——比较基因组杂交（comparative genomic hybridization）和荧光原位杂交（fluorescent in situ hybridization）技术，科学家开始在混乱的癌细胞染色体中寻找可识别的特征。在这些技术的帮助下，科学家们可以用带有颜色或荧光的 DNA 来标记、追踪染色体的微小区域，这样就能描绘出某个细胞中染色体

片段扩增、缺失或重排的图片。

研究人员发现，非整倍体也有“非随机”情况。在同一种肿瘤中，癌细胞染色体的改变方式都是一致的，大多数肿瘤（如乳腺癌、肺癌）都有这样的现象，和早先的染色体理论所预言的一样。2006年，瑞典卡罗琳斯卡大学医院的科学家发现，在10名伯基特（Burkitt）淋巴瘤患者的细胞中，3号、13号和17号染色体经常相互交换片段，7号和20号染色体也经常特异性地获得或丢失某些片段。

染色体的改变方式只与长出肿瘤的组织有关，而与患者没有太大的关系。这就是说，某一组织的细胞要发生癌变，染色体必须发生一定的改变，才能使细胞摆脱遗传程序的束缚。因此，非整倍体细胞要走上恶变之路，染色体变异就是最基本的条件。

除了可以判断癌症类型，观察染色体的改变还可以判断癌症的病情、癌细胞的转移能力以及耐药性。例如，卡罗琳斯卡的研究小组指出，17号染色体一个片段的转移，以及7号和20号染色体上一个片段的增加就与癌细胞的耐药性有关。

染色体的改变如何导致癌症？对癌基因的转录产物和癌细胞内的蛋白质进行分析后，科学家发现，癌基因与正常基因合成蛋白质的水平其实很接近。最近，一个由美国和以色列科学家组成的团队宣布，他们测定了结肠癌细胞中各种蛋白质的含量，发现其中确实有很多蛋白质的合成量过高或者过低，而这种变化与细胞内DNA总量的变化有关。随着细胞非整倍体程度的加重，各种蛋白质的数量差异也变大，肿瘤的恶性程度越加严重。这一结果说明：染色体的非整倍化使数千个基因的数量增多或减少，进而使细胞产生恶性表型。

不必要的特征无助于肿瘤的存活。有时，肿瘤的一些最常见、最恐怖的特征，并不能提升肿瘤细胞的生存能力。比如，在癌细胞转移之前或在转移过程中，它们本身就具有的、针对从未遇到过的药物的耐药性，并不能帮助它们在与正常细胞的竞争中取得优势。只有那些能够提升癌细胞竞争优势的基因突变，才会被保留下来，所以一个没有经过药物治疗的肿瘤，要通过随机突变的方式来获得耐药基因的几率实际上为零。与单个基因相比，染色体要庞大得多，并携带了数千个基因。由于对癌细胞的特异表型有着重要贡献，染色体会被选择性地保留，很多未被选择的特征也随着染色体一起保留下来。事实上，来自与耐药和转移性相关的染色体变异的证据，也支持这种可能性。概括地说，癌细胞总是能快速进化出各种所需的表型。

癌细胞变异比基因突变更快，它能很快完成新旧表型

的更替。在正常的突变频率下（很多研究显示，在超过90%的肿瘤中，基因突变的速度并没有加快），基因突变的速度与癌细胞产生新表型的速度相差甚远。

染色体的大规模改变似乎可以加速细胞的变异。为了验证这一观点，我们提取了乳腺癌与结肠癌患者的高度非整倍体细胞，检测细胞中染色体变化的速度，同时观察了细胞获得耐药性需要的时间。这些细胞每分裂100次，染色体就会发生一次变化；每分裂1000~10000次，就会出现一次与耐药性有关的染色体改变。换句话说，在非整倍体细胞中，染色体重新排列和表型更换的速度，远远超过突变改造基因的速度。

这些实验说明，癌细胞非整倍体程度越高，染色体变异速度越快，也就是说，染色体的不稳定性是由非整倍性造成的。这个恶性循环一旦开始，每个肿瘤细胞都能随机产生自己独有的功能。这个事实可以解释数十年前，英国伦敦皇家癌症医院的莱斯利·福尔茨（Leslie Foulds）观察到的现象：“没有两个肿瘤是完全一样的，即使它们来源于同一块组织……或者用同样的实验方法诱导生成的。”这种个性化的表现是癌症的另一个特征，而无法用某些基因的激活或失活来解释，因为特定基因在每个细胞和每个时间段的效应都应该是一致的。

每一个癌变特征都与染色体变异相关，而无法用基因突变理论来完美诠释，我们提出了“修正版”染色体癌症理论。

致命的循环

染色体发生改变，致使基因和蛋白质数量跟着改变，而基因和蛋白质数量的改变又会导致更严重的混乱状态……这是一个致命的循环！

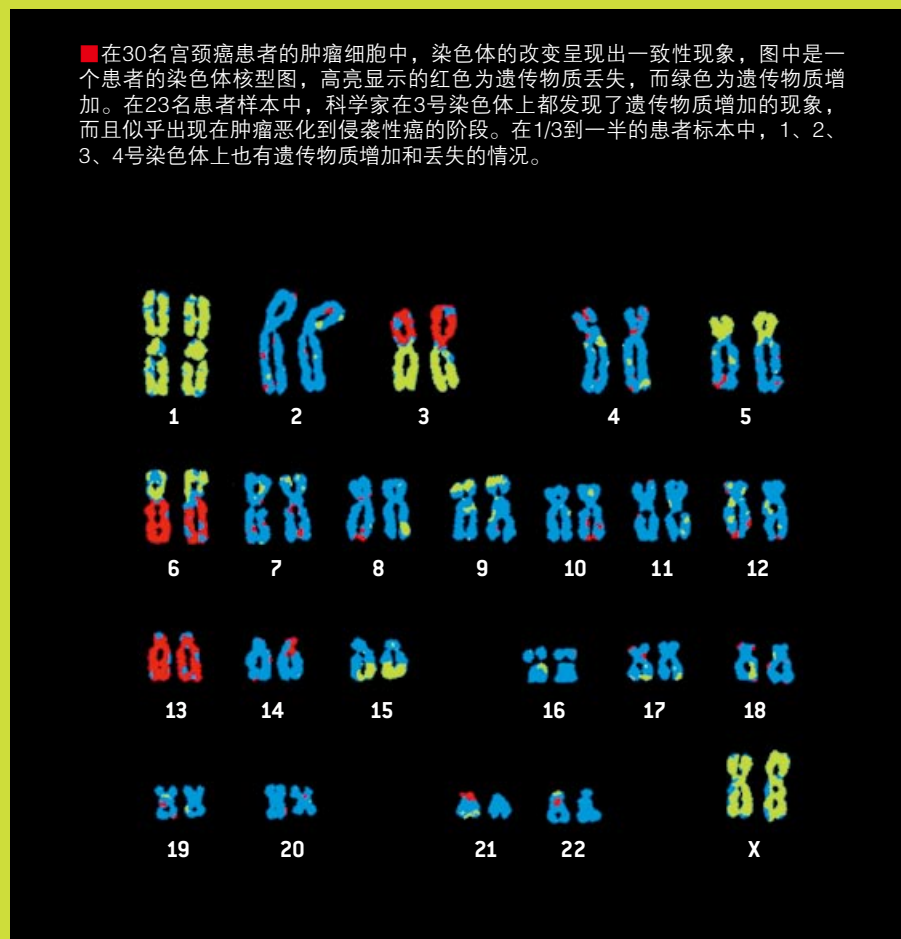
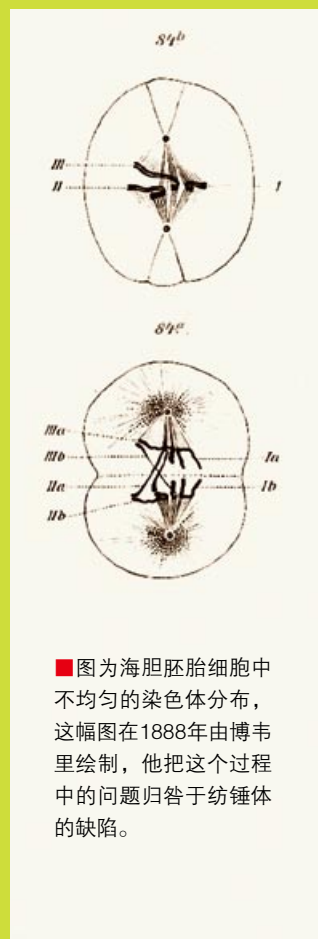
癌症是一种染色体疾病，致癌物质、罕见的遗传病症以及偶发的有丝分裂错误都是通过产生非整倍体引发肿瘤的。非整倍体让数以千计的基因和它们编码的蛋白处于失衡状态，为细胞发展成更严重的非整倍体创造了条件。这种自我加速的循环，成为细胞变异的动力源泉。借用达尔文的经典术语，那就是细胞选择了“自私染色体”组合，最终形成了具有强大生命力和竞争力的新生细胞。（从达尔文进化论的观点来看，只有让细胞的生存力更强的基因才会在进化中被保留下来，“自私基因”一词是理查德·道金斯所创，并作为他的一本著作的书名，所谓“自私”就是说基因总是倾向于对细胞自身有利。）

一旦癌症开始恶化，染色体的随机重组可以使细胞轻

关于非整倍体的争论

20 世纪早期，德国生物学家博韦里在观察海胆胚胎发育的基础上，发展了关于癌症起源于染色体混乱的理论。博韦里推断，大多数非整倍体细胞难以存活，但是某些染色体的缺失、增加或者重组，会使细胞及其子代获得恶性转化和强大的增殖能力，直至变为肿瘤。因此，同一组织的大部分肿瘤中会出现标志性的染色体变异。当前的技术水平使科学

家能够发现特异的 DNA 小片段，让他们认识到肿瘤中的染色体改变相当普遍，即使是在不同人的同种癌变细胞也存在（右图）。如果非整倍体是癌症的结果而非原因，这种形式的变异不可能在恶性转化中随机发生（并如此一致）的，这些证据都支持癌症的染色体理论。



易地获得异常特征，比如耐药性和转移性等致命特征。因此，用单个药物，甚至针对单个基因的治疗方案很难治愈癌症。近年来，有些科学家突发奇想，试图用“以毒攻毒”的策略来治疗癌症：损伤细胞的 DNA，促进染色体的非整倍体化，让肿瘤细胞不稳定乃至无法存活。对于较小的局部肿瘤，这种方法或许有效，但从整体上看，“以毒攻毒”很难操控。

不过，从非整倍体早期发展成恶性肿瘤需要较长的时间，在这段时间，医生可以从容地进行检查和实施外科手术。在癌症早期，还可以通过检查非整倍体来区分恶性肿瘤和“相貌雷同”的良性肿瘤。当癌症进入晚期，检查与耐药或转移性相关的非整倍体，医生就可以选择最适合的治疗方案。

最后，对食物、药品和环境进行严格筛查，剔除其中

可能导致染色体损伤和非整倍体的物质，将非常有益于癌症的预防。今天，我仍然希望研究癌症的科学家重新回到染色体理论这个起点，真正认清癌症的真面目，为癌症的预防、控制和治疗做出贡献。📖

扩展阅读

Debate Surges over the Origins of Genomic Defects in Cancer. Jean Marx in *Science*, Vol. 297, pages 544–546; July 26, 2002.

The Sigmoidal Curve of Cancer. Roberto P. Stock and Harvey Bialy in *Nature Biotechnology*, Vol. 21, pages 13–14; January 2003.

The Chromosomal Basis of Cancer. Peter Duesberg et al. in *Cellular Oncology*, Vol. 27, Nos. 5–6, pages 293–318; 2005.

Cancer Drug Resistance: The Central Role of the Karyotype. Peter Duesberg et al. in *Drug Resistance Updates* (in press).



用眼睛倾听

撰文 克里斯托夫·凯泽 (Christoph Kayser)
翻译 秦韬

要全面感知世界，
我们的五官必须在大脑中通力合作，
并且，在某些情况下，它们似乎已经融为一体。

星期天晚上去嘉年华体验一下吧。在你左边的星帐篷里传出歌曲《全天摇滚》(Rock around the Clock)，身后一群少年一边跟唱一边大笑，某个地方传来婴儿的哭声。霓虹招牌和闪光灯让人目不暇接。尽管你的感官已经超载，但如果手中没有一个冰淇淋，鼻子闻不到棉花糖和蜜香杏仁的味道，那也只是一次不完美的经历罢了。

这样的场景生动地说明，在同一时段内环境向我们发出的信号数量之多，令人惊诧。然而，我们的大脑却能将所有刺激融为一体，并分辨出各种杂乱的运动和声音。大脑究竟是怎样做到这一切的？长期以来，我们并不知道答案。

尽管有如嘉年华那般丰富的感官刺激，但这并不能给研究大脑对五官的融合作用——感觉统合(Sensory Integration)提供任何帮助。大脑通常会自己骗自己，为周围事物提供一幅虚假的画面，这引发了研究者的兴趣。以腹语为例，观众会认为声音来自表演者膝上呆坐的木偶，尽管事实并非如此。同样，电影银幕上的人物的声音是通过喇叭传到观众耳中的。但大脑在观察到嘴唇随着话语的节奏运动时，就会认为嘴唇是声音的真正来源。换言之，我们的视听印象共同创造出了我们对周围事物的感知。

有时候，我们不仅会误解自己感觉印象的来源，还会把这个对象感知为其他完全不同的东西。20世纪70年代中期，英国萨里大学(University of Surrey)的心理学家哈里·麦格克(Harry McGurk)和约翰·麦克唐纳(John MacDonald)发现了一个有趣的现象：在给自愿者放映的一部影片中，一个音节“ga”在配音时发作了“ba”，而自愿者称听到的音节却是“da”。这样一来，视听信息联手创造出了第三种全新的声音，这个过程现在被叫做“麦格克效应”(McGurk effect)。

视觉和触觉也能联手造成错觉。我们摩擦手掌时，通过感觉湿润程度和皮肤发出的声音，可以知道手有多湿润。如果听到强烈的沙沙声，说明皮肤很干燥——沙沙声越小，手掌越湿润。

这样的错觉表明，大脑在不停地根据各个感官传递的信息“设计”出一个周围事物的形象，这个形象在一定程度上是正确的。摆在感知研究者面前的问题是：我们的各种感官是在何处进行功能融合？怎样进行？

有两种模式。要么各个感官各司其职，将信息输入大脑，再由大脑统一加工成为连贯的整体；要么各个感官一开始便通力合作，互为补充，相互影响。

想象一只狗在邻院狂吠的场景。

第一种模式中，各个感官系统独立分析自己接受的刺激，构建出当前环境。例如，视觉展示给我们的是，一只金色猎犬在白色栏杆后面狂吠，听觉为我们输入犬吠声和汽车开过的声音。大脑将两种感官印象结合得出结论：一只狗在街边狂吠。

第二种模式中，视觉系统可能首先探测到，在一片绿地中，有一个淡褐色的大小确定的物体，听觉系统同时接收到从那个物体发出的有节奏的重复声音。在听觉系统接收到声音时，视觉系统也随之改变。各个感官在1秒钟内相互作用，直到呈现出完整的金色猎犬狂吠的印象。在这个模式中，感觉统合在信息加工的初级阶段就开始了。

这两种情景是感觉统合可能存在的模式的极端例子，在两者之间还有无数个发展进程。

统合形象

20世纪50年代，心理学家首次检验了不同的感官联合对感知世界产生的影响，对各个感官之间的相互作用进行研究。他们量化了前面提到的麦格克效应和腹语术效应(ventriloquist effect)，后者是在1966年由伊恩·P·霍华德(Ian P. Howard)同W·B·坦普尔顿(W.B. Templeton，当时任多伦多约克大学研究员)提出的。直到今天，心理学家仍在探索感官错觉，试图解释大脑怎样联合感官信息的各方面，这样的联合又将怎样增强我们处理多感官信息的能力。

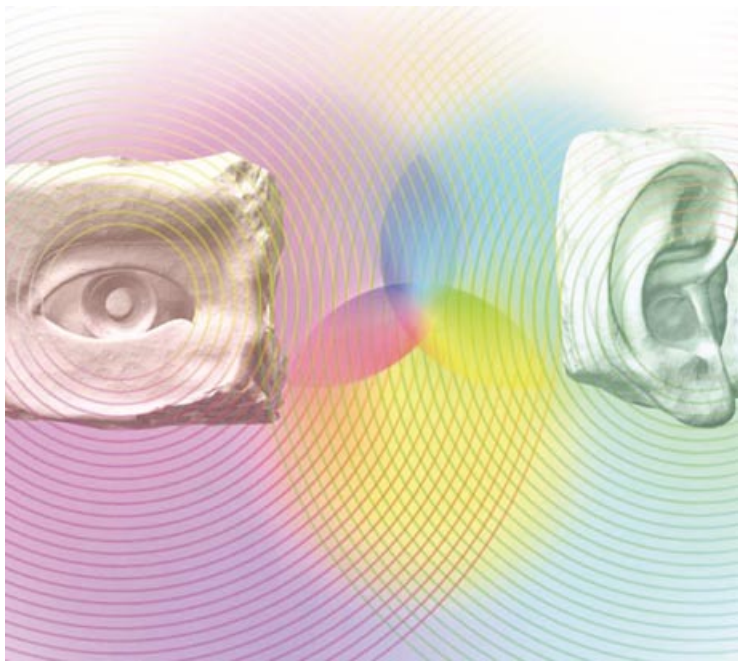
20世纪70年代，正当心理学家从感知立场研究感觉统合时，一些来自古典生物学领域的科学家，开始研究对大脑同感官信息联合的神经元基

概述 / 感觉统合

◆大脑通过不同渠道接收各个感官发出的信息。只有将这些信息融合起来，即感觉统合，我们才能得到周围事物的整体图像。

◆根据研究显示，在神经元受到刺激的早期阶段，这种统合就开始发生了。即使是专门负责单个感官的大脑中心，也要使用其他感官接收到的信息。

◆有一个关于这种“感官交叉”的好例子：高级听觉部位中的次级听皮层能对听觉和视觉刺激进行加工处理，也就是说，眼睛和手指都能帮助我们倾听声音。



■我们的五官一起协作，感知我们周围的世界，而并非各自独立处理特定的部分。

础。但他们中的大多数人都致力于神经元与单个感官，如视觉和听觉路径的研究。直到最近，随着大脑成像技术的进步，人们才开始认识到，感官并非如想象的那样各司其职。

功能核磁共振成像（fMRI）技术表明，当大脑中的某个部分高速运转时，比其他邻近的部分更需要氧气，因此，汇聚的血量也会更充足。在强磁场中，氧气充足的血色素分子同不含氧的血色素分子相比，表现行为会有所不同，因此，功能核磁共振成像扫描仪可以探测出血液流动，并制造出大脑运转的图像。

回想一下邻家的吠犬：功能核磁共振成像扫描仪能够探测出这两种感觉统合模式的不同。如果第一种模式正确，感官信息被各个系统独立分析，然后再融合。大脑各部分都应该参与进来，每部分独立进行一个感知过程。如果信息一开始就被融合接收，只有其中一些特定的部分才能达到感知目的。

这几年，一系列关于成像的研究发现，当感觉数据融合时，大脑各部分会组成一个高度激活的复杂网络。我们已经知道，大脑皮层顶骨及前方的突出部分，也就是所谓的联想部位，负责加

本文作者

克里斯托夫·凯泽：数学家，自然科学博士。目前在德国图宾根市马斯普朗克生物控制论学会研究感觉统合。

工处理在各个感官渠道中流动的信息。各个大脑部位只负责一种感官的想法已经被证明有误，事实上，大脑各个部位有更广泛的功能。2000年，英国伦敦学院（University college of London）的乔恩·德赖弗（Jon Driver）描述说，被测试者用眼睛的余光瞟到自己的左手或右手时，视觉皮层的活动会增加，正如手指能接触物体会产生刺激一样。然而，只有在视觉和触觉刺激在身体的同侧同时产生时，这种大脑活动才会发生。

心理学家了解到这种“多模式强化”（multi-modal reinforcement）已经有相当长的时间了。例如，一个闪光点的光线越强，人们看起来就越困难；如果我们在闪光的同时听见一阵短促的爆裂声，感知的光亮将会是最弱的。但只有在光线和声音同步时，这种效应才能成立。

对语言的感知特别有意思。根据麦格克效应，话语不光是靠声音传达的，嘴唇运动也能开展重要的信息交流。2001年，心理学家杰玛·卡尔弗特（Gemma Calvert）观察到，说话时，如果视觉和听觉上同时感知到刺激，视听系统的活动就会增加。换言之，嘴唇运动的图像从一开始就影响着声音符号的加工处理。这种大脑视听部位的协作在以前被认为是大脑各个部位各司其职。

即使是一个演讲者的无声图像，也足以刺激听觉皮层；当演讲者表达含混不清时，也是如此。这个现象很清楚地表明，听觉皮层对演讲者的图像反应很明显，感觉统合了听觉和视觉刺激，便于对演讲的处理。

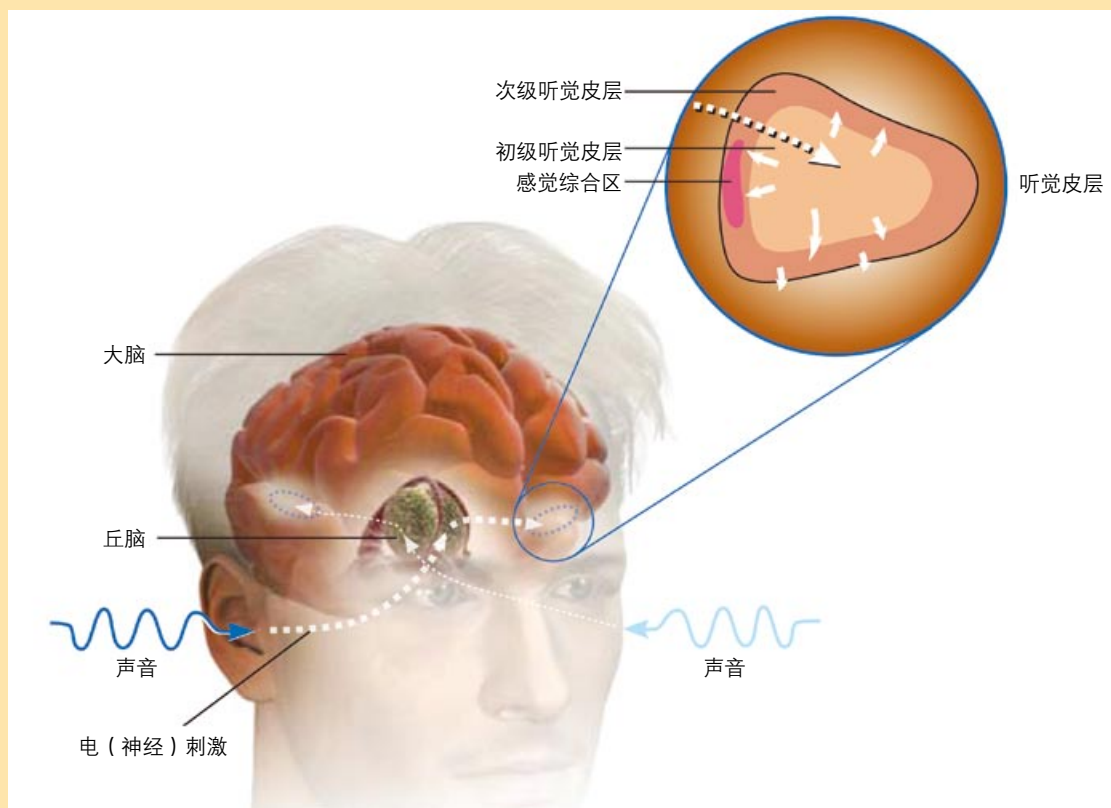
在大脑中融合

这样看来，第二种模式要准确得多。我的工作小组在德国图宾根马斯普朗克生物控制论学会进行的研究也支持这一观点。2005年，我们对恒河猴听觉皮层各个部位实施了高分辨率核磁共振测验。听觉皮层由多个二级单位组成。初级听觉皮层通过丘脑中的中介体，接收到内耳声波产生的电脉冲。然后向更高的部位传送，那些部位就像一条几毫米厚的带子，缠绕在初级听觉皮层四周。

我们通过耳机对动物播放杂音，用刷子刺激它们的手掌或足底，测试了它们的听觉皮层的活动情况。当两种刺激同时进行，次级听觉皮层后端受到的刺激尤为强烈。在2007年初，我们改

感觉在这里合并

感官刺激最初产生于内耳，然后经过丘脑到达初级听觉皮层，最后进入次级听觉皮层。在这个区域中，听觉信号与其他感觉信息合并。



为测试视觉刺激,也得出了相似的结果。我们发现,只有次级听觉皮层的后端受到了刺激。看来,感觉统合就是在这里发生的。

我们还不知道为什么感官信息只在这些部位融合。但似乎次级听觉皮层的后端是专门登记空间信息的部位,也就是识别声音的方向性。也许,这里发生的感官融合将各感官印象同一个特定的来源联系起来。

2007年1月,神经科学家查尔斯·施罗德(Charles Schroeder)同他在美国纽约州橘堡市内森·S·克兰(Nathan S. Kline)精神病研究院的同事进行了一次开拓性研究,发现了一种以非听觉刺激来增强听觉皮层活动的模式。他们发现,尽管单纯使用触觉刺激并不能激活听觉神经元,但却可以操控神经元的基本振动方式,从而激发神经元的最大活动潜力。如果听觉皮层同时接收到听觉和触觉刺激,神经元的激活程度将比只接

收听觉刺激更强。这种新观点可以对从两个不同感官接收到信息,从而激活信息加工中心的现象作出解释,它还可能指出感觉统合的神经元基础。

尽管我们还在努力试图全面理解大脑怎样对感官信息进行加工处理,有一点已经很清楚了:感官统合发生在大脑的高级部位,并且一开始就发生了。大脑多个部位共同参与将各感官接收的信息进行融合,只有少数部位专门负责单个感官,数量比我们以前想象的要少得多。❶

扩展阅读

The Handbook of Multisensory Processes. Edited by Gemma A. Calvert, Charles Spence and Barry E. Stein. MIT Press, 2004.

Integration of Touch and Sound in Auditory Cortex. C. Kayser et al. in *Neuron*, Vol. 48, pages 373–384; October 20, 2005.

Multisensory Spatial Interactions: A Window onto Functional Integration in the Human Brain. Emiliano Macaluso and Jon Driver in *Trends in Neurosciences*, Vol. 28, No. 5, pages 264–271; 2005.

为什么无法抗拒 食物的诱惑

撰文 奥利弗·格里姆 (Oliver Grimm)
翻译 李柯

为何我们无法抵挡美食的诱惑,吃进很多身体根本不需要的食物? 科学家们对人类大脑进行研究,希望能够找出答案。

在办公室里待了一整天之后,大脑中的血糖浓度直线下降。这时,你开始困扰:我能到哪里去找点吃的? 或许,你会马上拿起钱包,冲到街上的快餐店里,买上一大包食物。等你啃着高油脂含量的汉堡包时,大脑会突然反应过来:我这是在干什么?

这些情景几乎每天都会发生。虽然这些冲动只是暂时的,但欲望的力量是强大的,能够压倒我们对营养的需求。控制意识行为的大脑能够帮助我们作出健康而又正确的判断,决定我们应该吃些什么。可是,当我们空荡荡的肠胃开始抱怨时,这些来自大脑的正确建议立马会变得不堪一击。不幸的是,这种根据肠胃感觉作出的毫无远见的决定,对我们健康的威胁越来越大。

近年来,关于饮食过量和过度肥胖的研究进展非常迅速。超重已经成为造成心血管疾病和糖尿病最直接和最主要的原因。根据美国疾病控制预防中心 (Centers for Disease Control and Prevention) 和美国国家癌症研究所 (National Cancer Institute) 的资料显示,2000 年,美国跟肥胖有关的死亡病例超过了 11 万。美国《健康事务》(Health Affairs) 杂志在 2002 年发表的一篇报告说,美国每年花费在超重和肥胖病人身上的医疗费用,多达 900 多亿美元,这相当于美国每年国家健康支出的 9.1%。医师们把“人体脂肪健康指

数 (Body Mass Index, BMI) 超过 30”定义为肥胖。如果一个人的人体脂肪健康指数超过 25,就已经超重了。按照这个标准,2003 年到 2004 年的美国国家健康和营养调查 (National Health and Nutrition Examination Survey) 显示,大约有 1/3 的美国成年人超重,还有 1/3 属于肥胖。

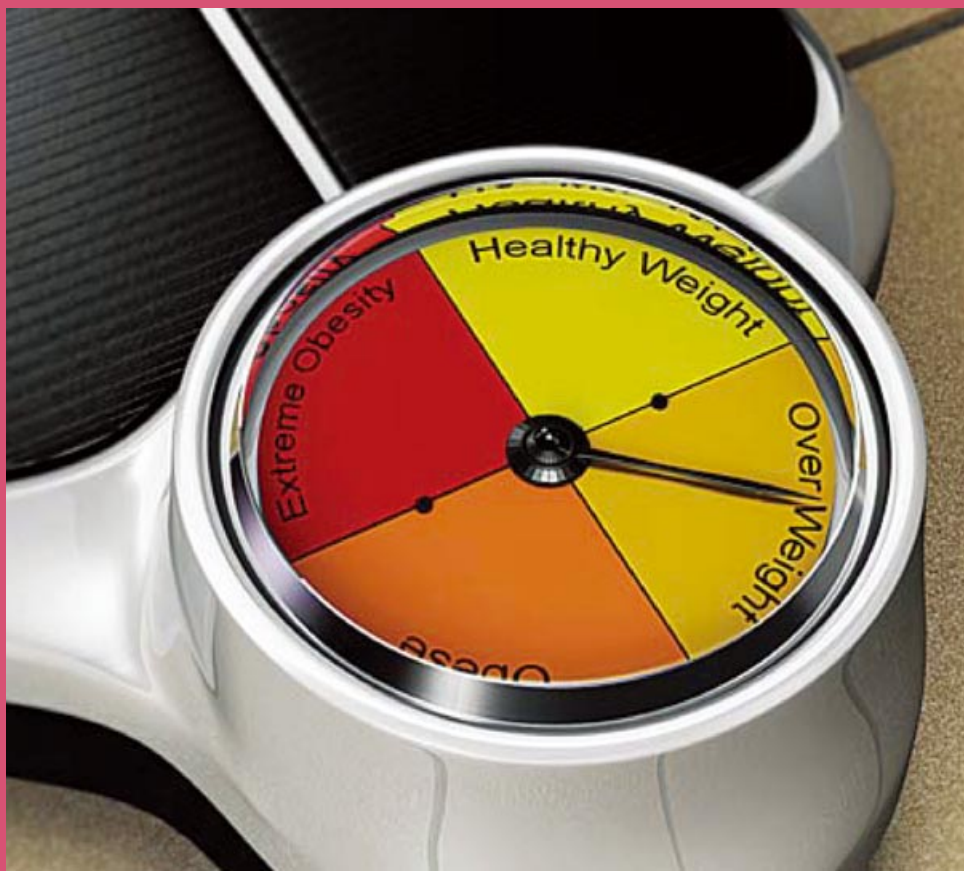
“停止”荷尔蒙

长期以来,科学家们在探寻肥胖的成因时,都专注于代谢激素的研究。1994 年,美国洛克菲勒大学 (Rockefeller University) 的杰弗里·M·弗里德曼 (Jeffrey M. Friedman) 发现,脂肪组织或脂肪细胞拥有一个能够阻止过量进食的反馈机制。脂肪细胞会分泌出一种蛋白质,通过血液流动进入大脑,抑止下丘脑产生饥饿感。弗里德曼称这种反馈机制为致轻素 (leptin), 这个词来自希腊语 leptos,意思是小的,稀薄的。

当研究人员通过某种手段,使老鼠体内遗传性的致轻素不能再发挥作用时,老鼠很快就变胖了。这个试验结果引发一些猜测,一些人认为,肥胖是由人体先天的反馈机制决定的,而不是由人类后天的行为造成的。最新的调查结果发现,这种解释其实过于片面了:致轻素也会对上瘾行为产生重要的影响。海洛因上瘾实验室里的动物,停止服毒之后,如果再加上

概述 / 上瘾和肥胖

- ◆ 在美国,每年跟肥胖有关的死亡人数达到了 11.2 万。美国每年在健康方面的花费,有 9.1% 被用来治疗超重和肥胖等病症。
- ◆ 从神经生物学的角度来看,毒品上瘾和狂吃的症状是不同的。最近的研究表明,大脑的报酬机制对人的饮食行为起着非常重要的作用。
- ◆ 神经生物学正在一步步说明,为什么超重的人很难减肥。吸毒上瘾和肥胖的不同,就像是一个硬币的两面。



■饥饿的感觉非常强烈，即使只是暂时的，也能摧毁我们原定的营养饮食计划。当我们的肚子开始咆哮，大脑中任何好的建议都会被淹没。

持续饥饿，它们会感到更加难受。或许，过饱荷尔蒙不仅可以抑止人们对食物的欲望，也能抑制某些毒品的成瘾性。

食物是毒品？

有过节食经历的人都知道，要戒掉旧的饮食习惯有多难。那么，我们是否应该把那些超重的人都看作是“瘾君子”的一种呢？乍一看，这种对比似乎太过牵强。毕竟，一个吃得很多的人只是没能强忍住大量进食的诱惑而已，超重的节食者也并没有出现戒毒者一样强烈的生理反应。但肥胖者的确显示出了一些依赖性的特点，他们似乎是在一股力量的推动下，

才去狂吃的，而且，吃得失去了控制。在他们看来，似乎其他需求都变得不重要。

从神经生物学的角度来看，毒品上瘾和狂吃的症状不尽相同。神经纤维束从中脑运动到一个叫做伏隔核的组织，当我们兴奋或是惊讶时，这个组织会分泌出大量不寻常的神经递质——多巴胺。如果一只饥饿的狮子发现了一块美味的肉，它的伏隔核就会被多巴胺所淹没。同样，可卡因和安非他明也会使伏隔核里的多巴胺含量增加至少10倍，传导出阵阵快感。

这个报酬机制也控制着下丘脑，这就是说，它控制着饮食行为。那些被改变了遗传性的老鼠不再制造多巴胺，正好说明了这种联系的重要性。就算饿得要死，它们也没有丝毫想吃东西的欲望。但只要提供了多巴胺，

他们的饮食行为又会立刻恢复正常。

2001年，美国布鲁克海文国家实验室(Brookhaven National Laboratory)的吉恩-杰克·王(Gene-Jack Wang)和美国国家滥用药物协会(National Institute on Drug Abuse)的纳拉·沃尔克(Nora Volkow)确定了多巴胺在饮食行为上的重要作用。通过使用正电子断层扫描技术，他们测量了超重的自愿者纹状体里多巴胺受体的数量，进而发现这个数字与人体脂肪健康指数相互关联。人体脂肪健康指数越高，多巴胺受体就越少。研究人员还断定，严重超重的人在多巴胺上的先天短缺，导致他们以食物的形式不断寻找新的报酬。在那之后，他们的大脑又会对多巴胺过量进行补偿，减少多巴胺受体的数量。就像发生在瘾君子身上的情况一样，可卡因上瘾以后，他

本文作者

奥利弗·格里姆是德国曼海姆中央精神卫生研究所的一位心理学家。



们也会有类似的报酬机制。

20 世纪 30 年代, 在一个针对不同大脑系统的实验中, 猿猴成为试验的对象。德国神经科学家海因里希·克吕弗 (Heinrich Kluever) 和他的美国同事保罗·C·布西 (Paul C. Bucy) 破坏了猿的杏仁核结构。这个结构与激励和情绪反应有关。他们的发现暗示了这个结构也可能与过分饱胀有关。2001 年, 美国杜克大学 (Duke University) 的凯文·拉巴尔 (Kevin LaBar) 加速了这个方向的研究。他给 9 个受试者观看一些图片, 同时使用核磁共振成像 (MRI) 扫描这 9 个人的杏仁核。这些图片包括食物和其他东西, 如车或工具等。受测者的身体都非常健康, 只是在试验过程中处于饥饿状态——从试验开始前 8 个小时, 他们就被禁止吃任何食物了。第一轮

测试结束之后, 凯文·拉巴尔会提供给他们想要的食物, 然后继续进行测试, 并将结果放进扫描仪里进行分析。

通过这种方式, 凯文·拉巴尔对饥饿的人和吃饱的人进行了比较分析, 发现当饥饿的人看见任何能够食用的东西后, 大脑内的杏仁核就会开始活动。在这个人进食之后, 这个大脑区域就不再有反应了。在美国埃默里大学 (Emory University), 克林顿·基尔茨和他的同事 (Clinton Kilts) 几乎在同一时间对可卡因上瘾者进行了相似的实验。就像 PET 扫描揭示的那样, 杏仁核对那些能使受试者感到兴奋的图片, 如排成一条线的白色粉末, 也会产生反应。很明显, 杏仁核起着一种报警作用。不管任何时间, 只要它探测到能对这个主体产生重要作用的东西, 比如一大条蛇, 或者一个诱人的三明治, 就会立刻报警。

当过度进食成为一种习惯

另外一个大脑区域 (眶额皮质) 也与人类上瘾有关。位于眼睛上部的眶额皮质似乎是监控我们行为的控制中心。通常, 如果一个人的眶额皮质在事故或者疾病中遭到破坏, 将无法控制自己, 或多或少会表现出上瘾的迹象。而且, 眶额皮质在瘾君子体内的活跃程度也显然低于健康人。

美国耶鲁大学 (Yale University) 的

达纳·M·斯莫尔 (Dana M.Small) 曾经在 2001 年证明了眶额皮质怎样影响我们对食物的喜恶。当 9 个受试者最爱的巧克力在他们的舌尖融化时, 她利用 PET 对这 9 个人进行了观察。他们的眶额皮质里的大脑活动增加了, 而且增加得比其他地方更多。然后, 研究人员让这 9 个人一直吃巧克力, 直到他们由享受转变成厌恶。这时, 眶额皮质的中心部分会突然关闭, 而旁边的一结区域, 活动强度都在增加。

所有这些实验都支持同一个观点: 大脑对与吃相关的处理和对其他上瘾行为的处理是一样的。所以, 虽然一些肥胖病人可以把他们肥胖的成因归咎于荷尔蒙分泌的不平衡, 但行为控制仍然起到了很重要的作用。

通过了解大脑对饥饿和饱胀的控制过程, 我们希望能够发展出对超重和肥胖有效的治疗方法。药物治疗的发展对于吸毒上瘾者的作用是很好的示范。比如, 食用环丙甲羟二羟吗啡酮能阻止安眠镇静剂带来的兴奋, 尤其是能控制体重的增加; 一种叫做拮抗剂 (Rimonabant) 的药物, 能够阻止大麻产生的内在传感器作用, 有助于一些病人减肥, 虽然作用并不是特别大。

当然, 咨询服务、锻炼和健康的饮食习惯是最好的方法。但是, 神经生物学告诉了我们为什么这条路如此难走: 吸毒上瘾和肥胖的不同, 就像是一个硬币的两面。SN

扩展阅读

How Can Drug Addiction Help Us Understand Obesity? Nora D. Volkow and Roy A. Wise in *Nature Neuroscience*, Vol. 8, No. 5, pages 555 – 560; 2005

Increasing Leptin Precedes Craving and Relapse during Pharmacological Abstinence Maintenance Treatment of Alcoholism. Falk Kiefer, Holger Jahn, Christian Otte, Cueneyt Demiralay, Karsten Wolf and Klaus Wiedemann in *Journal of Psychiatric Research*, Vol. 39, No. 5, pages 545 – 551; 2005

Individual Differences in Reward Drive Predict Neural Responses to Images of Food. John D. Beaver, Andrew D. Lawrence, Jenneke van Ditzhuijzen, Matt H. Davis, Andrew Woods and Andrew J. Calder in *Journal of Neuroscience*, Vol. 26, No. 19, pages 5160 – 5166; May 2006

怎样把房子变成家

翻译 周林文
撰文 安特耶·弗拉德 (Anje Flade)



■ 如果人们无法让住所赋有个性，那么他们会感到不自在。

是什么让一间房子有家的感觉？人们所向往的快乐生活究竟都需要些什么？心理学研究为这些问题提供了答案。

奥地利艺术家和建筑师弗里登斯莱希·洪德瓦瑟 (Friedensreich Hundertwasser) (他的名字在德文里的意思是“和平/王国/一百/水”) 是个特立独行的人。他的作品以艳丽的颜色、卷曲的线条和类似人体器官的形状而闻名，这些作品与他那些

赤身裸体的表演一样饱受争议。他为低收入者居住区设计的房子也不例外：设计于1977年的洪德瓦瑟之家 (Hundertwasser Haus) 具有独具一格的波浪形地板、草坪铺盖的屋顶和生长在房间里的大树，树枝伸出窗外。洪德瓦瑟拒绝接受报酬，并解释自己

只是希望“防止在这里耸立起一些丑陋的建筑”。

洪德瓦瑟在他一生中不断地打破民用建筑中的陈规。1958年，他在著名的反对建筑学理性主义的“模式宣言”（Mould Manifesto）中宣称：“在公寓里的人必须能够自由地探出窗户，楼房的外部也必须设计得让人够得着，于是住在里面的人就可以用长长的刷子来粉刷自己的房子，这样从很远的地方人们就可以看见：这里住着一个和邻居们迥然不同的人！”

和他同时代的大多数建筑师相比，洪德瓦瑟的意识大大超前。直到最近，建筑界才意识到住房个性化对人们的重要性。正如越来越多的DIY电视节目和雨后春笋般涌现的住宅改进超市所体现的那样，构筑自己的安乐窝并把它变得个性化是我们本能的需要。这迫使许多建筑师反思自己的角色，并且像洪德瓦瑟一样，认为住户应该参与到建筑的设计中来。

温馨之家

是什么让一所房子变成家？一套公寓怎样才能满足我们的情感需求，而不是物质需求呢？什么样的建筑特征能加强我们的总体幸福感或舒适感？20世纪70年代，环境心理学的兴起让心理学家和社会学家们开始关注“居住”这个概念。科学家们设计出了不同的方法来评估一个地方是否适于居住，这给研究环境心理学和住房对居住者的影响提供了有趣的见解。

多数人觉得他们住过最温馨的居所，是自己儿时的家，并用它来跟以后的居所作比较。20世纪90年代，美国威尔斯利学院的R·史蒂文·斯基亚沃（R. Steven Schiavo）让儿童和青少年画出他们想要怎样改变自己的家。

忽略了居住者需求的 建筑设计注定要失败



■洪德瓦瑟之具有独具一格的波浪形地板、草坪铺盖的屋顶和生长在房间里的大树。

尽管多数人都减小了自己房间的面积，他们理想的家在其他方面却大相径庭：有的人增加了厕所、娱乐室和客房；还有的人增加了书房和阅览室。

就像这个研究和其他的一些研究所表明的那样，要笼统地罗列出究竟是什么构成了“舒适的居所”，几乎是不可能的。居所是非常个人化的，而且我们的偏好也会随时间而改变。孩子需要足够的空间来玩耍和学习；年长的人则关心安全和便利；年轻的独身者可能向往更多用于娱乐的空间。

不过我们可以大致指出什么是人们最注重的。1984年，澳大利亚昆士兰理工大学的心理学家桑迪·史密斯（Sandy Smith）让她的学生们描述好的和坏的居所分别是什么样的。从学生的回答中，她提炼出5条特别重要的标准：与邻居的交流、隐私、多种用途、进行个性化改造的可能和安全性。

好邻居

大多数人认同一个好的房屋设计必须保证适量的邻里交流。挪威卑尔根大学的心理学家奥德瓦·斯科雅

概述 / 环境心理学

- ◆“温馨的家”都需要些什么？总的来说，有5条最重要的标准：与邻居的交流、隐私、多种用途、进行个性化改造的可能和安全性。
- ◆人们对住所的要求各不相同。不同年龄、文化背景、生活环境和住房经历的人有不同的偏好。
- ◆不能提供充分的私人 and 公共空间的住所会给居住者的精神健康带来不良影响。

多数人觉得自己住过的 最温馨的居所就是儿时的家



■住所是很个人化的，所以很难笼统地列出是哪些因素成就了“好的住所”。

夫兰（Oddvar Skjaeveland）和瑞典哥德堡大学的汤米·加尔林（Tommy G?rling）评估了究竟哪个建筑特征最能够促进积极的邻里关系。他们的研究结果指向了在公共和私人空间之间的所谓衔接区域（transition zones）。像院子和社区花园这样的地方，邻居们可以自发而随意地交谈——如果那里可以坐下来就更好了。

同样重要的是，邻居们必须能够相互分隔开来。研究发现，人们对一个住所的好恶与周围的空间或对这些空间的印象有直接关系。住房分布越密集，人们就认为这个楼房越不适合居住，事实上他们与邻居间的冲突也就越多。因此，几乎所有人都认为隔音的设施很重要。

同样地，一个好房子必须让住户拥有隐私，也就是说他们随时可以选择独处。当然，对隐私的需求对于不同年龄的人是不一样的：3岁的孩子

不介意和家人睡在同一个房间，而青少年就不愿意了。这种需要也因文化差异而有所不同。美国人的房子通常会有大窗户，向路人开放，而孩子与父母住不同的房间。在日本却相反：高高的墙和篱笆挡住了外面的世界，但房子里实际上却没有个人和公共空间的界限。

正如史密斯的研究所表明的那样，人们还偏爱有多种用途的房子——比如把多余的卧室改造成画室或把无用的角落改造成办公室。所以独门独院的房子比公寓更受青睐。更大的房子让人们有更多空间来按自己的意愿进行改造。最不受欢迎的是那些狭小的区域，它们只能用来作为过渡区，比如走廊。相反，小阳台、花园、院子或屋顶平台可以让人感到舒适，可能是因为它们带来了更多可以进行个人化的空间。

人们还需要有安全感。如果附近

常有失窃或抢劫发生，那么安全就会变成最重要的因素。这个观察结果符合美国心理学家亚伯拉罕·马斯洛（Abraham Maslow）在1943年提出的“需求层次”理论。这个理论通常被描述成一个金字塔，即必须完全满足像保暖和安全这样的基本需求之后，才考虑高层次的需求，比如对社会地位的需求。

搬还是不搬？

对于房产和建筑业来说，住房舒适度是成功的指标。人们决定搬家与否，通常是由他们是否对当前的居住环境满意决定的，而不是因为房地产市场的变化或有了搬新家的机会。开发商喜欢在广告中鼓吹他们的房屋怎样符合购房者的需求，并以顾客的高满意度为佐证。实际上有很多方法来测量这个数据：研究者可以直接提出问题，或者从居住者对间接提出的问题的回答中找到结论。（试着做一做下页的问卷，看看你自己的住房满意度。）

但住房满意度并不总是衡量住房质量的好标准。满意度往往体现住户的主观看法，而不是房屋物理特征。例如在20多年前，爱尔兰科克大学学院的心理学家凯文·胡里安（Kevin Hourihan）的调查：询问住在一条常常交通堵塞的街道上的住户的住房满意度。他原以为人们会抱怨噪音和污染，但实际上他们几乎没考虑这些。而且住户对房子的看法还掺杂了个人感情和计划中的活动。比如如果在近期没有搬家的打算，那么没有人会表达对现有住房的不满。

即便是这样，许多调查都证明了有3个特征是住房满意度的最理想指标：住房单元的大小，与邻居的接近程度和周围的基础设施的质量——物业服务、学校、托儿所、文化设施、

本文作者

安特耶·弗拉德受过心理学的训练，现居住于德国的达姆斯达特（Darmstadt）。她的研究兴趣包括环境心理学，住房和搬迁问题。

运动场所、公园和商店的便利程度。此外,一所昂贵的房子也会提高住户的满意度。而且住自己的房子一般比租房子住有更高的住房满意度。

有趣的是,业主们有更高的满意度并不只是因为他们更富有或者房子更大。2003年,瑞典卡洛林斯卡学院的罗斯玛丽·希斯科克(Rosemary Hiscock)和她在苏格兰格拉斯哥大学的合作者们发现,不是很富裕但却能买得起房子的人有更大的安全感,因为他们不用担心被赶走,而且也更有自尊。

其他研究还揭示了住房状况和精神健康之间的关系。2002年,美国康奈尔大学的心理学家加里·W·埃文斯(Gary W. Evans)及其同事评估了多项生活质量指标,不仅考虑了房屋面积、年龄和能源消耗等,还考虑了更复杂的因素,如住房具不具备足够的多功能性和保护隐私。然后他们让住户评估自己3个月以来的心情,对“我很紧张”或“我情绪低落”这样的表述以0分到5分打分。科学家们发现隐私缺乏保护和缺乏社会交流的空间一样,会对住户的情绪产生可测量的负面影响。

欢乐屋

看看今天的那些大城市,你会发现大多数房屋都没什么创意。规划者在传统上一直宣称大城市的建筑风格需要一定的统一性,却忽略了居住空间的心理学属性,这将会带来灾难性的后果,有许多众所周知的失败的例子可以证明。其中名声最差的是可能是规模庞大的普鲁伊-埃戈综合住宅区(Pruitt-Igoe complex),它是20世纪50年代在美国圣路易斯专为低收入者兴建的。

普鲁伊-埃戈工程号称要建33座11层大楼,共有2,870套公寓——

住房满意度测验

给下列问题打1到5分,1分是“非常不满意”或“从未有过”,5分是“非常满意”。把总分除以6。如果最后平均分是4到5分,那么你对自己的家是满意的。

- ★ 你对自己的家和/或周围的环境满意吗?
- ★ 总的来说,你会怎样评价你的住房满意度?
- ★ 如果再选择一次,你还会搬到现在这里来吗?
- ★ 你会把这个房子推荐给别人吗?
- ★ 你会把周边的环境或所居住的城镇推荐给别人吗?
- ★ 未来两年你还会住这里吗?

——安特耶·弗拉德

这是个惊人的数字。这些房子都涂上了一层新研制的油漆,让墙上的涂鸦可以被轻易地擦去。照明和供暖设施都有特殊的栅栏保护。此外还有“跳-停式”电梯,它们只在特定的楼层停下来,这样就可以减少拥挤和不便。建筑学杂志赞扬设计者们没有浪费任何空间(这些设计者中的山崎实(Minoru Yamasaki)后来设计了纽约的世贸中心)。

但在短短几年之内,普鲁伊-埃戈几乎变成了垃圾堆。公园和运动场上到处是碎玻璃和废车,无数的窗户被砸破,走廊、楼道和电梯里的垃圾和尿发出恶臭。节约空间的走廊和楼道让人们不可能停下来说话,所以住户之间缺乏交流。而这些狭小的公共空间也吸引了罪犯的光顾。最后,超过半数的公寓长期空着,当局不得不摧毁这些建筑。直到现在,这个地方还是废墟,原因之一就是挖起原来的

地基所需的代价太过高昂,新的开发商望而却步。

如果认为改善城市规划就能缓解那些困扰普鲁伊-埃戈的社会问题,未免太天真了。建筑设计也许从来无法保证绝对的住房满意度或一贯的幸福感,但它带来的影响却不容小视。我们安居的住所深深地触动了我们的精神世界,既有积极的也有消极的。

艾兰·德·博顿(Alain de Botton)在他的新书《幸福的建筑》(*The Architecture of Happiness*)中写道:“一间丑陋的房间可以把生活中点点滴滴的缺憾都聚集起来,而一间在阳光照射下,铺着蜂蜜色瓷砖的房间可以滋长我们心中的任何希望。相信建筑的影响力是一个前提,在此前提之上是一种观念和一种信念,即我们不论好坏,都是处于不同环境中的不同的人,而建筑师的任务就是把我们理想中的自我生动地展现给我们看。” SA

扩展阅读

Housing Quality and Mental Health. Gary W. Evans, Nancy M. Wells, Hoi-Yan Erica Chan and Heidi Saltzman in *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, Vol. 68, No. 3, pages 526-530; June 2000.

Residential Environments: Choice, Satisfaction and Behavior. Edited by J. I. Aragonés, G. Francescato and T. Gørling. Greenwood, 2001.

Residents and Residence: Factors Predicting the Health Disadvantage of Social Renters Compared to Owner-Occupiers. Rosemary Hiscock, Sally Macintyre, Ade Kearns and Anne Ellaway in *Journal of Social Issues*, Vol. 59, No. 3, pages 527-546; 2003.

The Architecture of Happiness. Alain de Botton. Pantheon, 2006.

Wohnen Psychologisch Betrachtet. Second edition. Antje Flade and Walter Roth. Hans Huber, 2006.

一行科学家来到智利安第斯山脉，本来想发掘一些恐龙化石，却意外地发现了哺乳动物骨骼碎片的化石。随后的发现更是让他们欣喜若狂：一件一件哺乳动物化石标本接连出现。古老化石的发现，将一个尘封了 3,000 万年的哺乳动物王国呈现在人们面前。

尘封3000万年的 南美动物王国

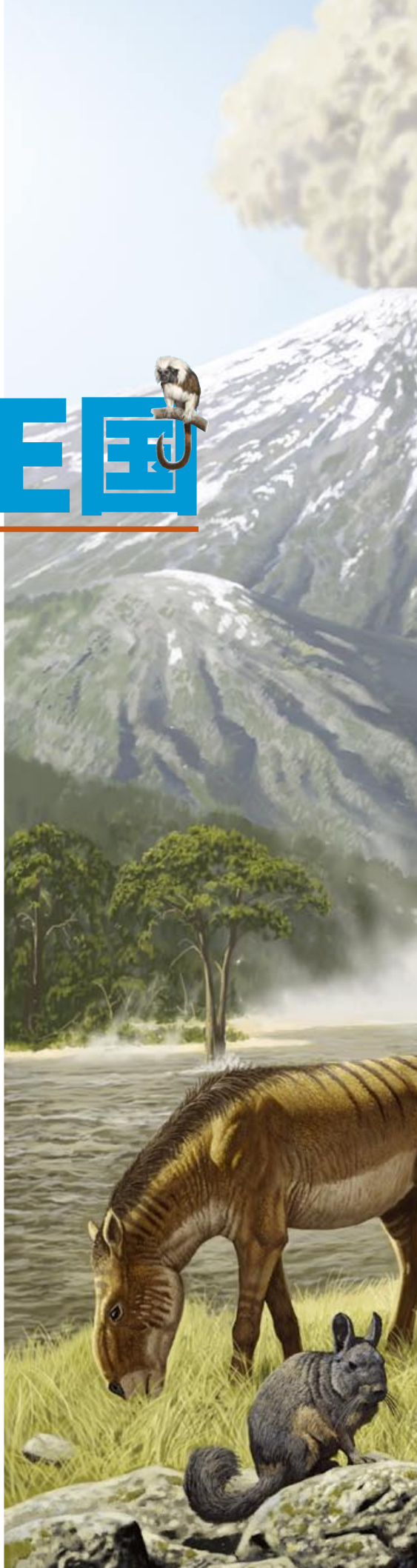


撰文 约翰·J·弗林 (John J. Flynn)
安德烈·R·怀斯 (André R. Wyss)
雷纳尔多·沙里耶 (Reynaldo Charrier)
翻译 李罡

——座座火山矗立在草原旁边，山上覆盖着厚厚的白雪。在火山脚下的草原上，一对似马非马的有蹄类食草动物、一头长得像羚羊的南美有蹄类动物和一只地懒安静地吃着鲜草。离它们不远的地方，一只栗鼠和一个类似老鼠的有袋类动物惬意地啃食着种子。突然，一座火山爆发了，岩浆沿着陡峭的山坡呼啸而下，冲到了草原上，这群动物没有来得及作出任何反应，就被厚厚的火山灰掩埋了。

对于葬身火山灰下的生灵来说，火山爆发是一场巨大的灾难，但对于古生物学，它却做出了不小的贡献。千百万年悄然流逝，动物尸骸变成了一具具骨骼化石。由于地壳变迁，在造山运动和侵蚀的双重作用下，这些化石最终“栖息”在智利中部的安第斯山脉上。1988年，我们小组在智利廷格里里卡河 (Tinguiririca River, 毗邻阿根廷边界) 的高山河谷寻找恐龙遗迹时，意外发现了第一块哺乳动物骨骼化石，而且对骨骼化石的初次发掘就收获颇丰，此后，我们每年都会返回这里深度发掘。迄今为止，在安第斯山脉的几十处地点，我们已经挖掘出 1,500 多件古老哺乳动物的化石标本。

采集到的化石标本越来越多，我们着手对这些标本进行实验室分析。随着研究的深入，鲜为人知的南美史前哺乳动物渐渐呈现在我们面前。令我们惊讶的是，骨骼化石的“主人”大约生活在 4,000 万 ~ 1,000 万年以前，而我们本来以为，能在这里找到更古老的化石。以前，科学家对南美哺乳动物种系演化的历史知之甚少。对于南美一些重要迁徙种群的由来，科学家一直争论不休，不过，这些化石的出土让这段模糊的历史豁然清晰。我们对当时南美的生态系统以及山脉出现时间的看法，也因为动物骨骼化石而发生巨大的改变。





■这是南美史前哺乳动物的人工复原图。它们悠闲地进食，全然不知附近火山喷射出的火山灰和岩浆即将把它们永远埋葬。

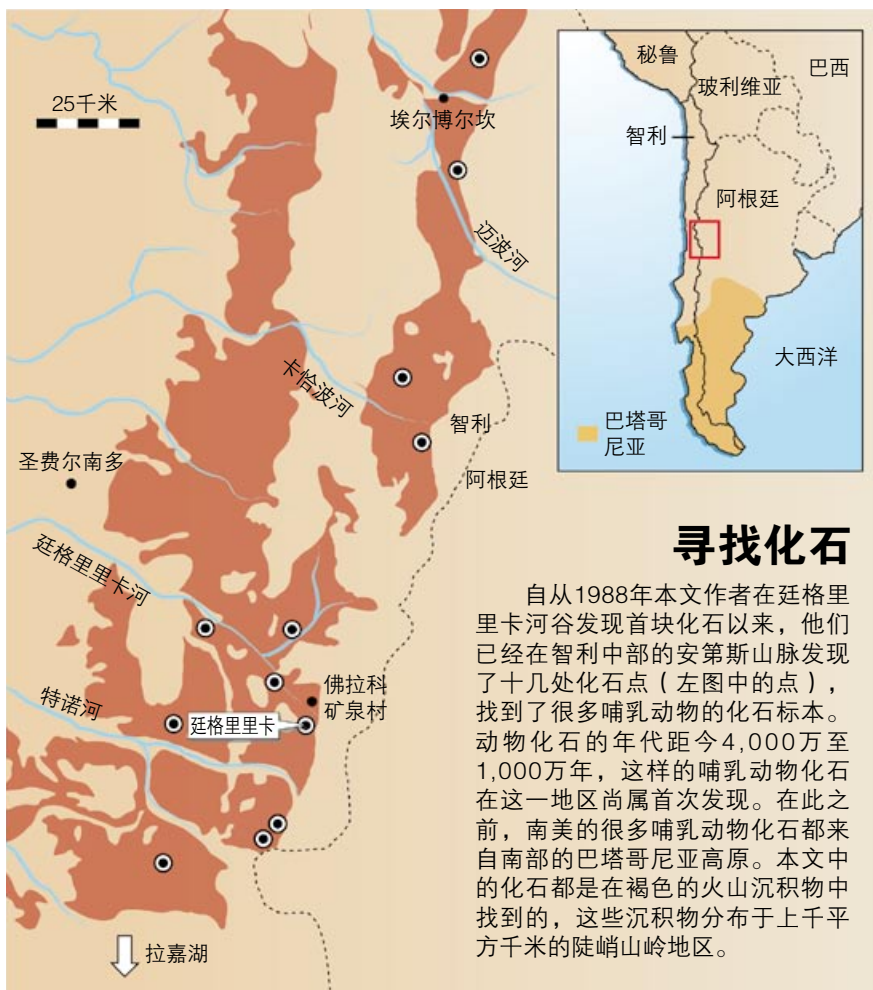
意外的发现

科学家来到智利的廷格里里卡河发掘恐龙化石。他们没有找到恐龙化石，却意外发现了南美史前哺乳动物的化石。这一发现揭开了一场大规模考古的序幕。

科学家对南美史前哺乳动物的了解，大都来源于南美南部地区（主要是巴塔哥尼亚地区）出土的化石。在这些地区，很多页岩（shale）、砂岩（sandstone）和河流的硬化沉积物露出地表，这些岩石都是动物化石的典型“栖身场所”。在我们首次造访智利之前，从来没有研究人员在那里系统地搜寻过陆生动物化石。因为那里的岩石主要是火山岩，人们认为火山熔岩（lava）和火山喷发物的温度太高，来势凶猛，很难妥善保存生物遗迹。

我们前去智利，是因为一篇报道宣称，廷格里里卡河谷残留有恐龙的脚印。获悉这一消息后，我们决定去碰碰运气，说不定那里真的蕴藏着不少恐龙化石。据地质学家估计，在安第斯山脉的主脊上，很多岩石的历史可以追溯到6,500万~1亿年之前，当时正处于中生代后期，是恐龙的极盛时期。经验告诉我们，保存脚印的沉积物很可能就含有脚印“主人”的骨骼化石。如果确实走运，再加上一双“慧眼”，我们或许还会发现与恐龙同时代的动物化石。

1988年，我们进行了为期一周的勘查，在勘查的最后一天，我们4个人分成了两个小组，分别在廷格里里



寻找化石

自从1988年本文作者在廷格里里卡河谷发现首块化石以来，他们已经在智利中部的安第斯山脉发现了十几处化石点（左图中的点），找到了很多哺乳动物的化石标本。动物化石的年代距今4,000万至1,000万年，这样的哺乳动物化石在这一地区尚属首次发现。在此之前，南美的很多哺乳动物化石都来自南部的巴塔哥尼亚高原。本文中的化石都是在褐色的火山沉积物中找到的，这些沉积物分布于上千平方千米的陡峭山岭地区。

卡河两岸陡峭的山坡上寻找化石。北岸的两个人一去就发现了含有恐龙足迹的岩层，然后他们继续向上攀爬，寻找可能含有化石的沉积物。这一次，他们只发现了鱼、菊石（ammonite）等海洋生物的化石，爬行类和哺乳动物的化石杳无踪迹。河对面的两名成员也没有值得称道的发现，同样沮丧不已。傍晚，我们来到了距河谷底部1,000米高的地方，这是一片红褐色的火山灰沉积物，正是在这里的发现，一下子就把我们的情绪推向了高潮：

因为风雨的侵蚀，一些骨骼和牙齿碎片的化石露了出来！经过仔细辨认，这些化石的“主人”应该是陆生脊椎动物，个头大概与小型马相当。

一开始，我们假定这些化石和山脊上的岩石是同一时代的产物，留下化石的动物不是奇特的恐龙，就是某种体型奇异的中生代动物。但这些牙齿化石不仅复杂而且分化程度颇高，高冠、顶平、多面的臼齿等特征只有在哺乳动物的牙齿上才能找到。而且，这些哺乳动物个体大，进化程度高，根本不可能出现在5,000万年以前。很明显，地质学家估计的岩层年代存在巨大的误差。后来的分析肯定了我们的推测，这些新发现的化石应该出自新生代。这个一直延续至今的地质年代开始于6,500万年前，也就是非

概述 / 丰富的化石

- ◆在智利中部的安第斯山脉，科学家发现了1,500多件哺乳动物化石标本，包括一系列不同寻常的新物种和南美最古老的啮齿类动物。
- ◆新发现的化石的年代距今4,000万年~1,000万年，填补了南美大陆哺乳动物进化史的一段空白。
- ◆一些化石见证了3,200万年前草原的出现，这比世界上其他地区草原的出现时间早了1,500万年。

鸟类恐龙灭绝的时刻（鸟类是兽脚类恐龙的后代，可以算是存活至今的一个恐龙种群）。

南美大陆的古老哺乳动物

科学家发现的哺乳动物化石越来越多，南美哺乳动物的悠久历史越来越清晰地呈现在人们面前。而且伴随着某些化石的出现，一段尘封了3,000多万年的历史首次为人类所知……

对我们来说，发现任何种类的化石都是具有轰动性的新闻。更何况上述化石来自于哺乳动物，还出乎预料的“年轻”，这样的收获令我们决定，在下一个野外考察季节集中勘查这一地点。每年春天，通往廷格里里卡河谷的小路都会被洪水冲毁，等到夏天高山积雪融化得差不多时，再由当地政府出面修复。1989年1月（南半球的夏天），当小路重新贯通之后，我们又回到了廷格里里卡河谷。在一个阳光明媚的早上，我们一行7人，带着完整的考察装备，来到了发掘化石的地点。迅速卸下行装，在小溪旁搭起帐篷，开始寻找化石。

我们在山坡上的搜寻工作刚刚开始，就发现了一些骨骼和牙齿碎片的化石。一个头骨化石从一块土豆大小的岩石两端穿出，先不说其他特征，

单是看到那对下颚骨，我们就知道这个头骨肯定属于哺乳动物（爬行类下颚骨由多块不成对的骨头构成）。随后，我们确定了这个动物身份：南美有蹄类哺乳动物中的一个新物种。南美有蹄类动物是一个很大的种群，它们的个体大小介于兔子和河马之间，已经消失了近百万年的时间。我们这次发现的新物种可能与羚羊比较相似，而在前一年发现的牙齿，可能出自犀牛类的有蹄类哺乳动物。在廷格里里卡地区的前3次野外考察中，我们总共发现了300件化石标本，包括多种有袋类动物、早期树懒、犰狳以及类似南美栗鼠的啮齿类动物。

也许要在多年以后，人们才会意识到我们的发现有多么重要的意义，但在当时，我们立刻就意识到，在这

里的发现将揭开一些重大秘密。透过新发现的化石标本，我们将看到南美洲有哺乳动物的悠久历史，比如树懒、猴子、食蚁动物、南美栗鼠等。这些南美洲特有的哺乳动物（包括我们在廷格里里卡河谷发现的新物种）的祖先，可能在南美大陆还是个孤岛的时候就已经进化出来了。在过去的8,000万年里，随着泛大陆以及其南部冈瓦纳古陆的解体，板块运动使南美大陆与其他大陆分离开来。这种长期的地理隔绝孕育了南美大陆上独有的哺乳动物，只有它们能适应这里奇特的自然环境，就像今天生活在澳大利亚的鸭嘴兽（platypus）、树袋熊（koala）以及马达加斯加岛的狐猴（lemur）一样。南美的现代哺乳动物有着非同寻常的祖先，比如善于跳跃的有袋类动

特征动物

在智利中部的廷格里里卡地区，我们经过5次考察，发现了25个哺乳动物物种。这些古老的动物大多是新物种，生活在3,200万年前，被称为廷格里里卡动物群。其中300多件标本代表了南美洲最古老的啮齿类哺乳动物，包括一种类似于南美栗鼠的哺乳动物，目前还未命名^①。始形马^②（*Eomorphippus*）和智利圣帖古罗兽^③（*Santiagorothia chiliensis*）属于一个类似于马的新物种，这两种动物的化石代表了南美有蹄类草食性动物中的两个最古老的亚群，南美有蹄类动物大约在两万年前绝种。这个动物群还包括了南美有蹄类动物中最具物种多样性的始蹄兔类动物（archaeohyracid）——廷格里里卡古蹄兔^④（*Archaeotypotherium tinguiriricaense*）。在廷格里里卡，树懒的近亲智利假雕齿兽^⑤（*Pseudoglyptodon chilensis*）和类似鼯鼠的恰瑞克罗獾^⑥（*Klohnia charrieri*）都是这里特有的动物。



► 环球科学小词典

泛大陆：大陆漂移学说认为，在侏罗纪以前，地球上只有一个统一的大陆，称为泛大陆，也叫联合古陆。围绕泛大陆有一个统一的泛大洋。从侏罗纪开始，泛大陆分裂并相互漂移，逐渐到达目前的位置。

冈瓦纳古陆是一个假设的存在于南半球的大陆，也称南方大陆，它因印度中部的冈瓦纳而得名。在印度半岛，从石炭纪到侏罗纪包括其下部的特征冰碛层到较上部的含煤地层，统称为“冈瓦纳（岩）系”。南半球各大陆都发现有这一时代的相似岩系和化石，根据这一相似性和其他证据，便给这个古大陆统一命名为冈瓦纳古陆。

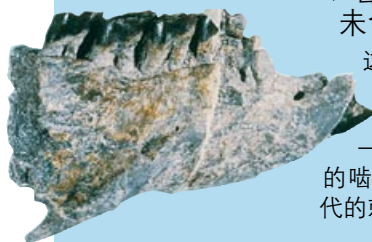
非洲移民

新世界猴和豚鼠形啮齿类（包含今天的水豚、南美栗鼠和它们的同族）并不是南美洲的“土著居民”，而是在 2,500 万年前来到南美大陆的。有些研究人员坚持认为，这些动物的祖先来自距南美更近的北美洲，但在智利中部发现的化石却强烈暗示，这两个类群与非洲的祖先有更近的亲缘关系。据推测，早期的“非洲移民”也许是借助漂浮在海面上的植物，或者利用其他一些科学家永远无法想到的方式，成功横渡大西洋的。



▼猴类：
卡拉斯柯智利卷尾猴
(*Chilecebus carrascoensis*)

微小的头骨化石（5厘米长，距今2,000万年）属于一种体重不足1千克小型猴子，这种猴子有点像今天的狨（右图）。



▼啮齿类动物
未命名的新物种

这一下颌化石（两厘米长）是南美最古老的两件啮齿类动物化石之一，来自于3,200万年前的啮齿类动物，长相类似现代的刺豚鼠（右图）。



物，长着剑齿的有袋类“猫科动物”，尾巴粗大的犰狳“堂兄”、体大如熊的啮齿类动物、体大如象的树懒、擅长在海里游泳的树懒等。

在此之前，科学家在巴塔哥尼亚等地区发现的化石，或多或少地透露了一些南美现有哺乳动物祖先的故事，但许多关键信息仍然缺失。例如，树懒、食蚁动物和许多现已灭绝的外来种系（比如某些有袋类动物和南美有蹄动物）一样，早在 4,000 万年前就出现了。但能够代表南美哺乳动物发展史的第 2 个阶段，即 4,000 万 ~ 3,000 万年前的那段时间的动物化石，却一直没有发现。最让我们兴

奋的是，我们发现廷格里里卡河谷的动物化石，正是生活在这个时间段的哺乳动物遗留下来的，暗藏着一段尘封了数千万年的历史。

古生物学家推测，在化石记录的这段神秘历史里，南美大陆的很多独有种系经历了爆炸式发展，迅速走向多样化。我们搜集的化石包括了最早的几个南美有蹄类动物种群，代表了至少 25 种哺乳动物，以科学眼光来看，几乎全是新的物种。在这一时期，南美大陆还出现了啮齿类和灵长类动物，而这两种动物并非南美的“土著居民”。

横渡大西洋的史前移民

豚鼠形啮齿类动物是史前南美的外来移民。对牙齿化石进行分析后，科学家发现它可能来自非洲。但当时的南美与非洲之间，还隔着茫茫南大西洋，几千万年前的啮齿类动物如何完成漂洋过海的壮举？

在廷格里里卡，我们找到了一块已知最早的啮齿类动物化石，这是我们最重要的发现之一。它很可能帮助科学家揭开水豚（capybara）和南美栗鼠（chinchilla）的起源之谜。这两种现存的豚鼠形（caviomorph）啮齿类动物和它们的“直系亲属”构成了南美最古老的啮齿类种系。（大小鼠则代表了相对“年轻”的啮齿类种系，它们是在 350 多万年前，巴拿马地峡首次连通南北美大陆时，从北美迁徙到南美的。）古生物学家认为，首批豚鼠形啮齿类动物抵达南美洲的时间，大致在 5,500 万年前 ~ 2,500 万年前之间，但在当时，南美洲还是一个孤岛。一些年代较近的豚鼠形化石似乎暗示着啮齿类动物的祖先可能来自非洲，研究人员认为，啮齿类动物很可能取道加勒比海群岛，从北美来到南美，这样一来迁移路径就更短了。

为了平息这一争论，我们详细比较了廷格里里卡和世界各地的啮齿类动物化石的解剖学特征。下颞骨上小牙齿的形状为我们提供了重要的信息（上颞骨和白齿还没有被发现）。根据小牙齿的形状，我们推断廷格里里卡啮齿类动物的上白齿有 5 个不同的齿顶，和非洲同时代的啮齿类动物一样。相反，北美的史前啮齿类动物的上白齿仅有 4 个齿顶。比较的结果强烈暗示，廷格里里卡的啮齿类更接近于非洲种群；在北美化石层没有发现豚鼠形啮齿类的化石，也是“非洲起源说”

的一个有力证据。

对于最初的豚鼠形啮齿类“移民”而言，从非洲迁徙到南美是一项极具挑战性的任务。科学家猜测，它们借助漂浮在海面的木头或其他的植物，完成了这次不可思议的大转移，这种方式也是其他动植物成功到达孤立地域的最好方式。在今天看来，利用上述方式完成“越洋旅行”的想法好像很牵强，但在3,200万年前，这是可以做到的。那时，南大西洋最窄的地方只有1,400千米宽，仅为现今宽度的一半，并且热带地区由东向西的洋流偶尔还会增强。

在这样的条件下，史前动物们的“越洋旅行”可以在两周内完成。在这段时间内，动物或许还可进入休眠状态（如果处于极度困难的时期，动物会静止不动，大幅降低新陈代谢的速率）。而且，当时的海平面正在下降（因为南极及其周围形成了冰盖），因此会有一个或多个火山岛充当“垫脚石”（现已沉没），动物漂洋过海就更加容易了。

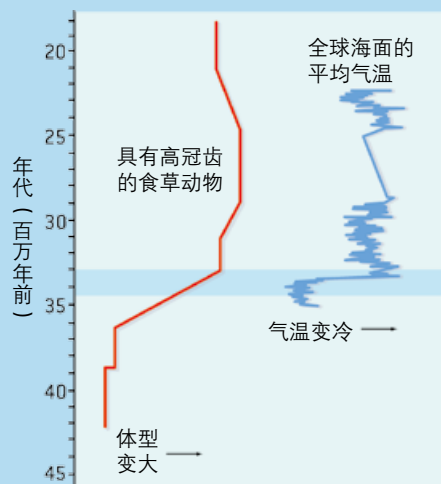
大草原

南美史前哺乳动物有着很耐磨的高冠齿，现代草原上的很多动物也有这样的特征。而且在3,000多万年前，全球气候逐渐变干变冷，只有草原才适合寒冷和干燥的环境。这些都说明，动物们很可能生活在一片干燥的大草原上。

利用精确度极高的新型年代测定技术，我们分析了含有化石的岩石晶格内的微量氩气，最终将廷格里里卡哺乳动物的生存年代确定在3,300万~3,150万年前。不断变厚的南极冰盖和其他一些现象表明，当时气候越来越冷、越来越干燥。既然在廷格

牙齿透露的真相

在廷格里里卡发现的3,200万年前的食草动物化石，大多具有高冠的颊齿，类似于今天牛的颊齿，适合咀嚼坚韧的纤维植物。这些特化的臼齿说明，在这些动物生存的年代，廷格里里卡地区是一片干燥的草原。而在此之前，南美洲是繁茂的森林，高冠齿食草动物仅占很小的比例（图中红线）。在3,400万年前，全球气候（深蓝色线条）变冷、变干（浅蓝色柱形线），这可能就是森林干枯的原因。



▲高冠齿

上面的下颚骨化石来自于一个体大如羊的廷格里里卡草食性动物，耐磨的牙齿表明了它的身份：生活在草原上的食草动物。珐琅质覆盖着齿冠，一直延伸到齿龈线以下的根尖部，这样一来，在牙齿生长时就有了更多的耐磨材料。



▲低冠齿

这是一种尚未命名的智利食草动物的右边下颚，珐琅质仅仅覆盖了齿龈线上方的齿冠。这样的牙齿不适合咀嚼坚韧的食物，只会出现在经常吃树叶或者其他柔软食物的动物身上。

里里卡哺乳动物的繁盛时期，气候发生过极大的变迁，这些动物和它们所处的环境是否也发生了相应的改变呢？

尽管从未在廷格里里卡的化石层里发现同时期的植物化石，但是凭借一些间接证据，我们已经能重建史前哺乳动物的生活环境。我们对哺乳动物牙齿化石进行分析时就发现，这些动物与它们的直系祖先必定生活在完全不同的生态环境中。6,500万

年~3,400万年前，南美很多哺乳动物都是草食性动物，它们在森林中生活，食用树叶和绿草。（在南美其他地方发现的植物化石证实，郁郁葱葱的森林在那一时期覆盖了南美大部分地区。）森林里的植物质地柔软，以此为食的哺乳动物的齿冠都很低，牙齿表面覆盖的保护性珐琅质只有很薄一层，珐琅质的包裹范围也截止于牙龈线，就像人类的牙齿一样。

然而，廷格里里卡的草食性哺乳

本文作者

约翰·J·弗林、安德烈·R·怀斯和雷纳尔多·沙里耶在过去20年里，一直在智利安第斯山脉寻找化石。弗林是美国纽约自然历史博物馆古生物学部的主席，怀斯是加利福尼亚大学圣芭芭拉分校的地球科学教授，沙里耶是智利大学的地质学教授。他们对以下机构提供的帮助表示感谢：智利圣地亚哥国家自然历史博物馆、智利国家纪念馆委员会、美国自然科学基金会、美国航空航天局、智利科技研究委员会。

本文译者

李罡博士是中科院南京地质古生物研究所的副研究员，也是陆相地层学和古动物学家。

动物的牙齿，却有截然不同的特征：齿冠极高；珐琅质超过齿龈线，直抵齿根。珐琅质比牙齿内部的牙质坚硬得多，因此高冠牙齿比低冠牙齿更耐磨。廷格里里卡的食草动物几乎都有高冠牙齿，因为它们的牙齿要经常研磨食物中的颗粒物质。生活在宽阔大草原和热带稀树大草原的动物，比如牛、羚羊、马等，也因为要食用坚韧的草，同样拥有这样坚硬的牙齿。一般说来，生活环境越开阔，高冠齿种类所占比例就越高。我们发现，在廷格里里卡的动物种群中，2/3的物种都具有高冠牙齿，这个比例甚至超过

了北美中部大草原上现代高冠齿类动物所占的比例。

上述发现表明，廷格里里卡的草食性动物生活在开阔的草原而非森林，况且牙齿化石也不是这一结论的唯一证据。我的研究生达林·克洛夫特（Darin Croft）现在是美国凯斯西储大学（Case Western Reserve University）的教授，他对不同体型大小的动物物种数量进行了统计学分析，还对这些动物进行了生态学特征分析，用这两种独立的方法推算出了廷格里里卡地区当时的年降雨量和植被情况，得出结论：廷格里里卡的哺乳动物非常类似

于非洲稀树草原上的现代动物群，生活在点缀着少量林地的干燥大草原上。

如此看来，远古的廷格里里卡地区是一个开阔的、相对干燥的大草原。这一结论也许会让人们有些吃惊，因为先前的所有证据都表明，在其他大陆上，最早的开阔草原大致出现在1,800万年前。廷格里里卡草原的出现时间明显早了1,500万年，这可能是由于当时全球气候转干变冷，安第斯山脉隆起引起的雨影效应（rain shadow）则可能强化了这一趋势。比起茂盛森林，草原更适合寒冷和干燥的环境。不过就目前而言，草原的出现是否起因于全球变冷，还须详加研究。进一步验证两者之间的直接因果关系将是未来的研究方向。

天然试验场

曾被忽视的火山沉积物竟然保存着如此丰富动物化石，是科学家以前没有想到的。况且南美大陆长期与世隔绝，是一块难得的天然试验场，非常适合科学家研究生物的进化史。

在廷格里里卡河谷的几处地点发现了如此多的动物化石，收集了大量的古生物学和环境信息之后，我们不禁怀疑：大量化石出现在这里是否偶然？一个意想不到的困难，却成为我们找到答案的契机。1994年春天，我们又来到智利，却被告知通往廷格里里卡河谷的道路修复工作进展缓慢。为了不浪费时间，我们开始在河谷外围考察。

► 环球科学小词典

雨影效应是一种较为常见的地理现象，即山的迎风坡多雨，背风坡少雨干燥。这是因为山脉阻隔暖湿气流，把水汽集中在迎风坡，水汽聚集并到达一定强度时，就会下雨。同时背风坡常年不能接受水汽，以至于蒸发量相对较大，使土壤相对干旱。



■千百万年来，智利中部地区一直受到板块运动作用的挤压，出产化石的岩层几乎垂直于地面便是最好的证明。这些岩层位于廷格里里卡河谷南部300千米左右的拉嘉湖（Laja）湖附近。

山脉的隆起

在智利安第斯山脉，远古哺乳动物化石的发现具有相当重要的意义，它们让我们对该地区地质发展的历史有了更深的理解。这些古老哺乳动物的生存年代晚得出乎很多人的预料，推翻了有关当地地质年龄的主流观点，说明安第斯山脉的隆起时间比以前推测的至少晚了7,000万年。长期以来，人们一直认为，组成智利中部安第斯山脉山脊的大部分岩层至少形成于一亿年前，安第斯山脉的初次隆起大概也是在这一时期。经过对含有化石的岩石进行的年代测定，我们第一次可以精确地计算这部分安第斯山脉的隆起时间：距今1,800万年至1,500万年。这种阶段性的隆升一直持续到现在，而且还没有停止的迹象。很明显，广泛的沉积盆地形成于造山期的火山作用阶段，不仅塑造了独特的古老生态系统，还保存了精美的哺乳动物化石。



■在廷格里里卡首次发现了草食动物的头骨，它们保存在古火山喷发出的火山灰和岩浆中。头骨还未从岩石中分离出来，研究人员就断定这两块标本来自于已绝灭的南美有蹄类食草动物。左边标本具有高冠齿，这是食草动物的典型特征。另一个头骨来自于食用树叶的南美有蹄类动物，这是最近在特诺河（Teno）附近发现的。

在其他几个主要峡谷，同样分布着火山沉积岩，在上千平方千米的山岭地区，这样的岩石随处可见。通过几年的野外考察，我们肯定了自己的想法：哺乳动物化石不仅仅局限在廷格里里卡山谷，火山洪流掩埋这一地区也不是孤立事件。在上百万年的岁月里，火山爆发时有发生。每一次爆发都会将数不清的火山喷发物覆盖在以前的沉积物（包含骨头）上。最终，火山沉积物（现在变成了沉积岩）和岩浆层叠在一起，形成了厚达3,000米的层状地质构造。再后来，板块运动引发了碰撞、挤压作用，这一地质构造便向上隆起。

对1,000万~4,000万年前的动物种群所作的分析，让我们对廷格里里卡地区的历史有了新的认识。在廷格里里卡北面100千米的卡恰波（Cachapoal）河流域，我们找到了迄今保存最完整的新世界猴的头骨。这颗头骨属于一只体重不超过1千克的雌性幼猴，长5厘米，两个眼眶和上颌的每一颗牙齿都完好无损。这种猴子被命名为卡拉斯柯智利卷尾猴，与现代的新世界猴（比如狨和小狨猴）颇

为相似。和豚鼠形啮齿类一样，新世界猴的起源也是一个谜，科学家们一直在争论它到底起源于北美洲还是非洲。不过，从智利卷尾猴头骨和牙齿的解剖特征来看，新世界猴更有可能是一种灵长类动物的后裔。另外，智利卷尾猴的祖先似乎也是横渡了大西洋，从非洲来到南美洲的。

从廷格里里卡动物群到新世界猴，再加上在智利中部的发现，证明曾被忽视的火山沉积物保存着丰富而完整的动物骨骼化石，记录了南美哺乳动物的进化史。经历了几年的磨练，我们已练就了“火眼金睛”，有时远在几千米以外，便能一眼认出含有化石的岩石。不过这些化石要么栖身于

陡峭的山坡，要么隐藏在人迹罕至的偏远地区。有些化石发掘地只要沿着满是石子的小路或者泥泞的山路走上几千米便可到达，更多的地方只有通过长时间步行、骑马甚至要借助直升飞机才能到达。我们打趣地说，这是“怀斯法则”（怀斯是本文作者之一，这一法则是他开玩笑时提出的）：越难到达的地方化石越多、质量也越高。

南美大陆长期与世隔绝，为研究大规模进化现象提供了难得的天然试验场。现在，在智利安第斯山脉发现的新生代化石将我们带回了几千万年前的南美，让我们有幸“亲眼目睹”这片大陆上哺乳动物的进化和环境变迁。SA

扩展阅读

Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals. George Gaylord Simpson. Yale University Press, 1980.

Cenozoic Environmental Change in South America as Indicated by Mammalian Body Size Distributions (Cenograms). Darin A. Croft in *Diversity and Distributions*, Vol. 7, No. 6, pages 271 – 287; November 2001.

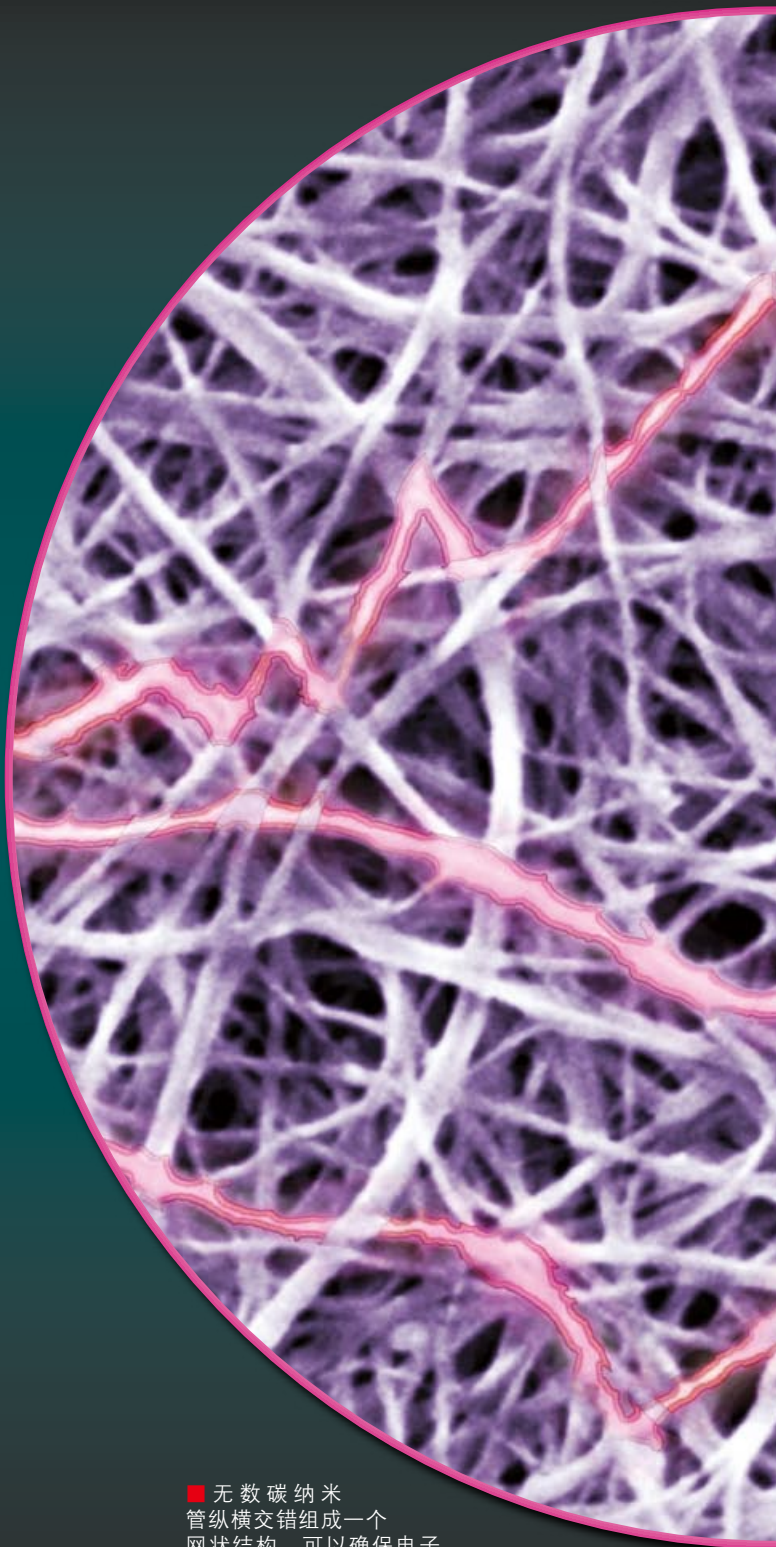
The Tinguiririca Fauna, Chile: Biochronology, Paleoeecology, Biogeography, and a New Earliest Oligocene South American Land Mammal “Age.” J. J. Flynn, A. R. Wyss, D. A. Croft and R. Charrier in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 195, No. 3/4, pages 229 – 259; June 15, 2003.

For more details about the mammal lineages that inhabited South America when it became geographically isolated, visit www.dcpaleo.org/Research/SAMammals/SAMammals.html

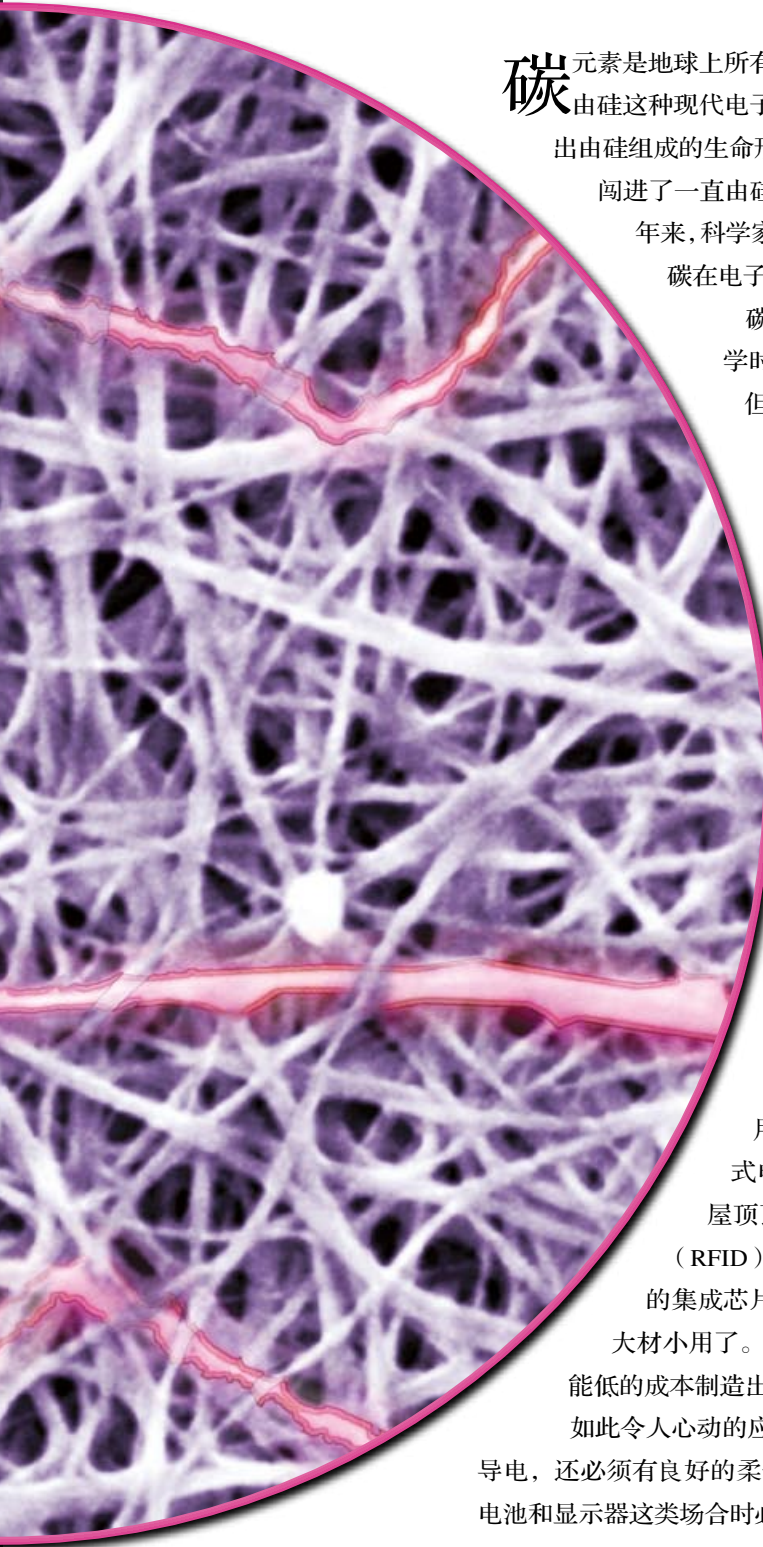
刷新消费电子 碳纳米网

你能想象电子数码产品像纸一样便宜吗？制造太阳能电池用复印机批量复印吗？借助无数微小碳管组成的随机网络，这些都将是梦想。

翻译 郭凯声
撰文 乔治·格鲁纳 (George Gruner)



■ 无数碳纳米管纵横交错组成一个网状结构，可以确保电子（图中的粉红亮点）有多条替代路径可用，从而使纳米网具有可靠的导电性。这张照片所示的整个区域直径约为0.7微米。



碳元素是地球上所有生命的基础，但在众多经典的科幻故事中，外星生物几乎全部由硅这种现代电子技术的核心元素构成的。科学家甚至猜测，将来我们可能创造出由硅组成的生命形式。不过，眼下的情景恰恰相反：碳不但没有被硅取代，反而闯进了一直由硅统治的地盘，大有取而代之、成为电子器件基础元素之势。多年来，科学家一直在全力探索如何制造成本低廉、功能多样的柔性电子产品，碳在电子领域的迅速崛起恰好为这一研究方向注入了新的活力。

碳在电子领域的异军突起也许令很多人很感意外，因为他们中学时就学过，以石墨和金刚石形态存在的碳，导电性能并不出色。但在过去的 15 年间，研究人员发现了碳的许多新型形态，这些微观结构由成百上千个碳原子构成，电子在其中可以畅行无阻。其中特别引人关注的要算碳纳米管，这种碳分子的形状酷似卷曲的铁丝网，不过它用的“铁丝”是极薄的一层碳原子，粗细仅为真正铁丝的亿分之一。

研究人员发现，由碳纳米管组成的随机网络——纳米网（nanonet）——具备多种多样的基本电子功能。研究人员借助一些新颖的化学技巧，可以让碳纳米网模仿金属（比如铜）的导电性，也可以模拟半导体（比如硅）的导电性。利用此类技巧，这种百变碳结构就可以在各种电子器件中独立发挥不同的作用。

此外，工程师也可以用简单的制造工艺来生产这类碳基器件。研究人员可以把纳米管溶解在液体中，然后将溶液喷涂在柔性塑料板的表面上，形成一层薄膜；还可以把这类材料涂在或印在具有不同电子性能的其他物质上（例如某种加上电压便会发光的材料）。

很容易想象，这类简单的碳结构可以为许多价格低廉、使用方便的电子产品的制造奠定基础。例如，化学传感器和佩戴式电子装置；可以像普通报纸一样卷起来的“电子纸”；可以印在屋顶瓦片上的太阳能电池；以及各种用来管理仓库存货的射频识别（RFID）传感器。这类场合如果还要使用价格昂贵、处理速度快如闪电的集成芯片（如英特尔奔腾系列处理器或三星视频显示芯片等），那真是大材小用了。世界各地的研发实验室和新兴公司正在各显神通，力争以尽可能低的成本制造出足够好的材料（见第 69 页上的表格）

如此令人心动的应用，对现今的电子材料提出了非常苛刻的要求。它们不但要能导电，还必须有良好的柔性，重量要轻，成本要低，还得是透明的（至少在用于太阳能电池和显示器这类场合时必须透明的）。大多数导体是金属，而金属通常不透明。相反，

金刚石之类的材料制成的薄膜虽然透明，却不导电。不过，金属氧化物这类特殊金属能够透光，最有名的要数氧化铟锡(indium tin oxide)了。在工程师们需要透明电极的场合，这种金属氧化物常常能派上用场。然而它成本不菲、重量太大、脆弱易碎，而且必须使用价值数十亿美元的设备在高温下加工生产。

另一种备选材料是一类与众不同的塑料——导电聚合物。一般的塑料是不导电的，但近几十年来，化学家们使出了各种招数来改造塑料，终于将某些高分子聚合物转变成了半导体，乃至完全的导体。聚合物可以采用常温工艺来制造。这类材料重量轻，柔性好，不费吹灰之力就可以做成各种各样的形状，而且价格相当便宜。不过塑料聚合物也有软肋：在大多数塑料中，把原子结合在一起的化学键强度都相当低，很容易断裂，因此时间一长这些塑料就会降解。试想，如果太阳能电池在暖和的阳光下晒了几天就寿终正寝，这样的电池还有多大用处呢？

最好的导线

碳纳米管的导电性可以与铜媲美，能承受的电流强度则超过性能最佳的金属百倍，不与一般的化学物质反应，能够长年使用。

因此，碳纳米导线应运而生。早在几十年前，科学家就发现了碳纳米管，但当时没有人意识到这些另类碳结构的价值。直到1991年，日本NEC公司的化学家饭岛澄男(Sumio Iijima)又再次把这些宝贝发掘了出来。这些极其微小的碳管直径在1纳米左右，与DNA分子双螺旋结构中一条DNA链的粗细相当(见上面的插图)。碳纳米管的导电性可与铜媲美，超出任何聚合物好几个数量级。另外，碳纳米管所能承受的电流强度为性能最佳金属的百倍以上。此外，这种纳米管十分结实耐用，它可以轻易弯曲，不与一般化学物质发生反应，长年累月地使用也不会受损变质。

纳米管的制造过程是这样的：首先利用电弧或激光的热量，把煤还原成碳原子，形成所谓的碳云(carbon

概述 / 纳米网电子学

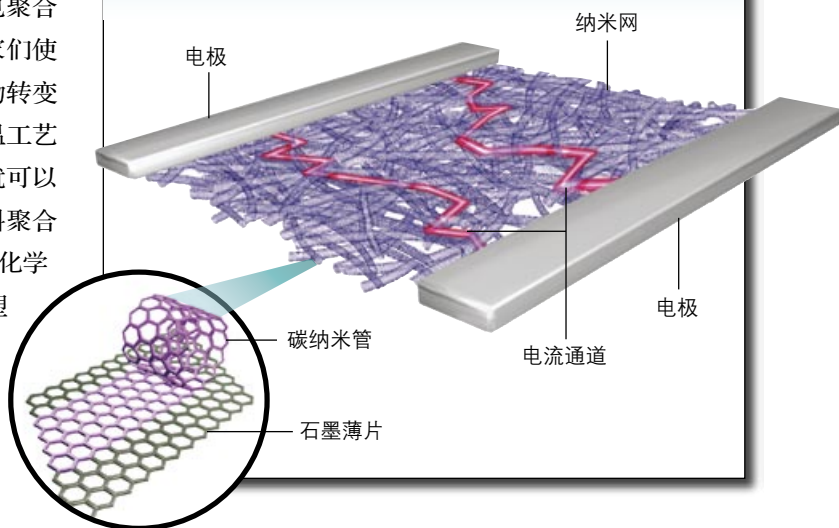
◆碳纳米管是由极薄的一层碳原子卷起形成的一种圆柱形碳结构，具有良好的导电性，可以在许多新锐电子产品中发挥作用。但是，用单根纳米管来制造电子产品不但成本高昂，而且可靠性也很成问题。

◆由碳纳米管构成的随机网络被称为纳米网，它能实现许多基本的电路功能，并且价格低廉。纳米网还经久耐用，因此适合用来制造便携式器件。

◆不出几年，碳纳米网将在传感器、太阳能电池、电子纸、柔性触摸屏以及显示器等各种产品中找到用武之地。

从纳米管到纳米网

由碳纳米管构成的薄薄一层随机网络被称为纳米网，可用于多种电子器件中。每根纳米管由只有一个原子厚的石墨薄片卷成圆筒状而形成(见小图)。这种管的直径约为1纳米，仅相当于人类头发粗细的五万分之一。电流通过互相连通的纳米管从一个电极流向另一个电极。



plume)；然后借助催化手段来处理碳云，制造出各种各样的碳分子。这种相对来说比较简单的加工方法得到的烟灰，含有多种形式的碳分子，包括俗称“巴基球”(buckyball)的球状碳分子和其他各种碳笼分子，当然也少不了碳纳米管。下一步则要把纳米管从这堆碳分子的大杂烩中分离出来。分离技术的重点在于，提取形状细长、近于完美的单壁纳米管(而不是有着多层同心管壁的纳米管)。这项工艺非常繁琐，眼下适用的纳米管价格奇贵，但厂家深信，纳米管应用的普及将会刺激人们投资建造大规模生产纳米管的设施，以满足日益增长的市场需求，到那时纳米管的成本自然会大幅度下降。

如果我们用单根纳米管建造一只晶体管，虽然它的性能可以轻松超过现今电脑硅芯片上任何晶体管的性能。(晶体管是现代电子技术的核心元件，它在电路中起着电压驱动开关的作用。)但可以预见，将来这类单根碳纳米管不会取代硅和铜。单根纳米管难普及的主要障碍在于它的制造工艺难度极大，这是影响纳米技术产业化进展的最棘手问题之一。现今用单根纳米管打造的器件往往需要人工组装，因此可能要用几天的时间才能制作完成，大大降低了生产效率。另外，这类器件还存在着个体差异的问题，各纳米管的形状和构型总是略有差别，因此不同器件的性能通常也不一致。

编织纳米网络

用碳纳米管随机组成网络，不但可以保持良好的导电性，还具有极强的容错能力，在大多数电子应用中占据优势。

尽管单根纳米管各不相同，不过研究人员意识到，同时使用多根纳米管或许可以抵消彼此间的差异，部分纳米管中存在的缺陷也可以通过其他性能更好的纳米管来弥补。实现这一构想最简单的例子，就是由纳米管组成的随机网络（参见第 64 页插图）。纳米管随机网络与高速公路网异曲同工：当你在高速路上遇到塞车时，你可以另找一条路绕过去。与此相仿，导电纳米管随机组合形成的纳米网也为电子提供了分流路径，从而加快了电子的传输速度。研究人员很快就发现，这种二维随机网络本身就具有一系列有趣的特性。

首先，由于纳米网中有多条路径和接头，即使存在制造缺陷，各电极之间也绝对能够保持良好的导电性。我们可以把纳米网形象地比喻为高速路网。没有人愿意徒步，或者在红绿灯林立、平交道口遍布的慢车道上驱车穿过城市，走高速路也就成为每个人的第一选择。这个道理同样适用于纳米网。在纳米网中电子可以一头钻进纳米管，在纳米尺度的高速路网上任意驰骋。其次，纳米网中路径纵横密布的特性还使得它对故障有相当高的承受能力，即具有良好的容错性能。如果一条路径因断开而无法使用，其他路径会马上接替它。

导电纳米网就是所谓“渗流原理”的一个具体实例。渗流原理可以解释各种物体、材料或电流是如何穿过一种随机介质的。如果我们把牙签一根一根地扔在桌子上，只扔几根，那么这些牙签碰巧一根接一根，从桌面一侧连接到另一侧的可能性简直微乎其微（事实上，当牙签密度低于某一临界值时，可能性基本为零）；但如果不断地把牙签扔到桌上，牙签密度最终将会超过临界值，发生所谓的渗流相变（percolation transition），第一条渗流通道就会悄然形成，随后更多的通道也接二连三地现身。如果将这个比喻中的牙签换成一根根铜丝，那么铜丝也能在某一时刻形成一条贯穿桌面的导电通道，它能承受的电流强弱则取决于桌面上铜丝的密度。理论工作者早在若干年前就研究过这种构想，而我在美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的研究小组则详尽地描绘了纳米管网络中的渗流相变过程。

纳米网还可组成高度透明的结构，使它在需要透光的应用场合占了很大的优势。不管高速公路有多宽，它的占

地面积也只是整个地区面积的一个零头。与此相仿，由细长丝状物交织而成的网络肯定也留出了足够的空间，让大部分入射到网络上的光能够畅通无阻地穿过。对于基本上可视为一维形状的纳米丝来说，透光率接近 100%。

纳米网还具有结实耐用的优点。一种材料被做成纳米丝网状结构后，往往比这种材料本身更不容易断裂。有些场合要求产品对日常频繁使用有较强的承受能力，此时纳米网结构就一枝独秀了。想想你的手机或 iPod 摔过多少次，谁不希望拥有一款经得起摔打的产品呢？

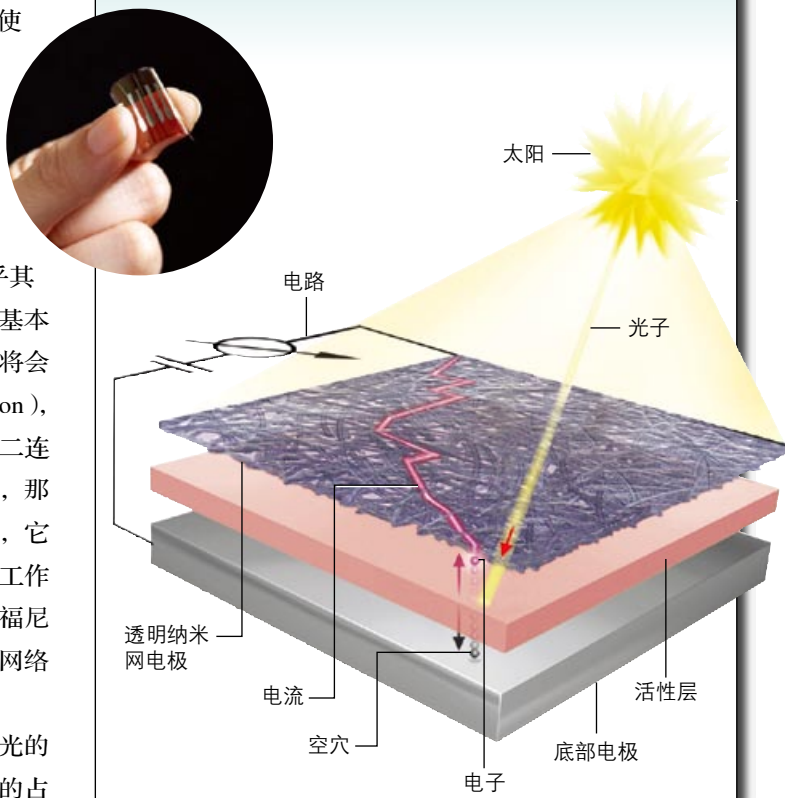
两个瓶颈

碳纳米管要取代传统材料，还必须在提高性能和降低成本两个方面取得突破。

这些性能上的优势预示着纳米网的应用前途无量。但是任何一种新材料要想取代传统材料，那就必须在提高性能和降低成本两方面更上一层楼。几年前，我的研究小组

更廉价的太阳能电池

透明而柔软的碳纳米网电极，将比现今太阳能电池中所用的刚性氧化铟锡电极便宜得多。光子会在活性层中撞出电荷（带负电的电子和带正电的空穴），碳纳米网则将电荷传导到外部电路。小图所示为一个印刷纳米网太阳能电池样品，用手指便可以轻易使它弯曲。



和其他一些研究团队——比如德国马普固态研究所（位于斯图加特市）的物理学家西格马尔·罗思（Siegmar Roth）小组和美国得克萨斯大学奥斯汀分校的一个团队——制造的纳米管薄膜尚不足以承担这样的重任。如何优化加工工艺，怎样最有效地把纳米管淀积在表面，这些都不是轻而易举就能解决的问题。

很显然，我们不可能像扔牙签那样，一次扔下一根纳米管来制造这类网络薄膜，必须另辟蹊径。比如，可以把纳米管溶解在某种溶剂中（水、酒精、有机液体等），然后把溶液喷涂到某个表面上。不过要实施这种方法并不容易。混杂在液体中的纳米管通常会成束地聚集在一起，需要用一种化学添加剂才能把它们分开。有些表面活性剂（比如肥皂）可以把一根根纳米管包裹起来，迫使它们分开，但在喷涂到某一表面上之后，如果表面活性剂仍缠住纳米管不放，就会妨碍电子在纳米管之间流动（就像阻塞了高速公路的进出坡道一样）。不过，通过对不计其数的溶剂、表面活性剂及加工工艺进行反复试验，研究人员终于摸索出了常温下制造这类纳米管网络薄膜的简单方法。我的研究小组和美国佛罗里达大学化学家安德鲁·林兹勒

（Andrew Rinzler）领导的小组开创了一种方法，已经能生产出比较理想的纳米网薄膜。在现有的纳米网设备中，我们的薄膜电阻最低，性能首屈一指。

在对纳米网的导电性进行试验的过程中，研究人员意识到纳米网可以制成一种透明的材料。对于显示器和太阳能电池等应用来说，这种特性十分重要。2001年，瑞士联邦理工学院莱昂纳多·德乔治（Leonardo Degiorgi，曾是我的博士后同窗）的团队，和美国佛罗里达大学物理学家戴维·坦纳（David Tanner）及其同事，研究了纳米网的光学特性，终于找到了它们能够透光的线索。为了精确测定纳米网的导电性，他们制造了厚膜。这种膜由于太厚而不能透光，但是根据厚膜的测量数据，他们得出了这样一个结论：较薄的纳米网膜不但透明，而且可以导电。基于这种结论，我的研究小组和林兹勒的研究小组随即对纳米网薄膜的光学特性进行了直接测量。现在，科学家可以根据需要量身打造纳米网薄膜，比如通过改变纳米管密度制造具有不同透明度的薄膜，或者通过改变薄膜的厚度来改变薄膜的导电性。

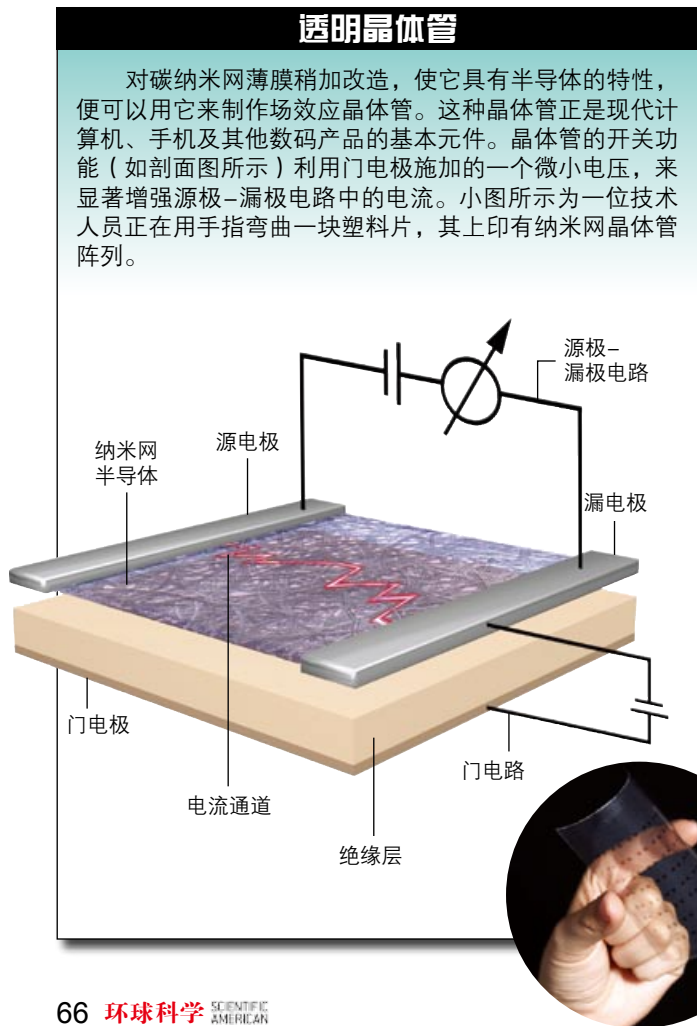
纳米网晶体管

科学家们致力于用碳纳米网来制造新型晶体管。这种晶体管在性能上可以与硅晶体管一较高下，体积却远远小于后者。

不久以后，研究人员就把注意力从纳米网导体的制造，转向了纳米网半导体的开发。这类半导体有可能成为新型晶体管的基础。晶体管对材料的导电性能有很高的要求：当输入信号仅有微小改变时（例如电场出现细微变化），材料的导电性必须产生大幅度的变化（见左框图）。

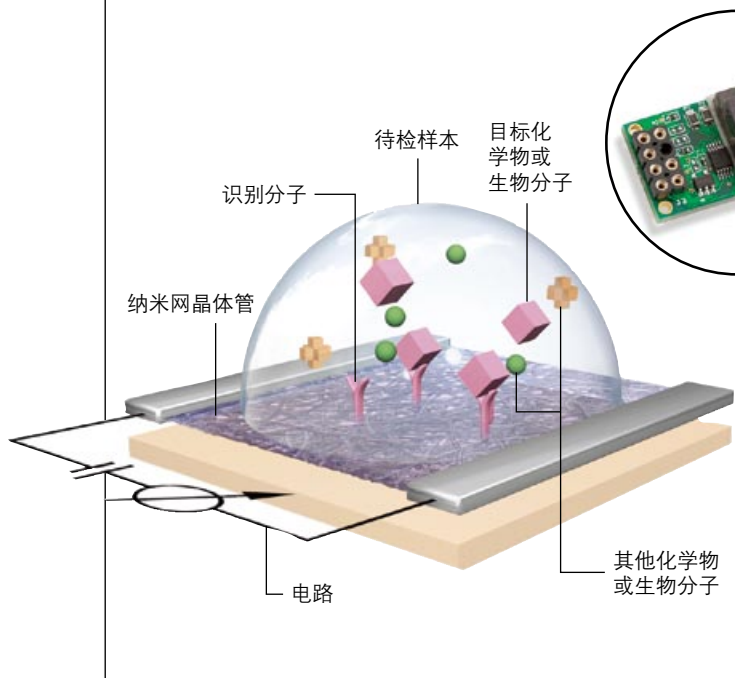
碳纳米网可以成为薄膜场效应晶体管（thin-film field-effect transistor）的主要部件，这一主张是在7年多以前提出的。此后该领域的进展就相当迅速了。相关的各个技术难题，比如在柔性基质上制造纳米网、调节纳米网的透明度等，相继被攻克。2003年，美国加利福尼亚 Nanomix 公司（我曾任该公司的首席科学家）的研发小组制造出了纳米网晶体管；与此同时，美国海军研究实验室（Naval Research Laboratory，位于华盛顿特区）的材料专家埃里克·斯诺（Eric Snow）领导的一个小组也取得了同样的成果。但这些晶体管是在刚性的玻璃基片上制作的，加工温度高达 900℃。这种工艺根本无法用在柔性的塑料基片上，因为塑料被加热到 120℃ 时就熔化了。

同样是在2003年，Nanomix公司的研究人员基



低价传感器

将某些可以与目标化学物质或生物分子起反应的所谓“识别分子”引入纳米网器件中，便可以使纳米网器件摇身变成传感器。当目标物质与识别分子相结合时，传感器的输出电流便发生改变。这样的器件能够探测多种的化学物，包括一种由血流携带的癌标志物——前列腺特异抗原（PSA）。不久之后，像炭疽菌（它可能被用作生物武器）之类的生物分子，也将难逃纳米网传感器的法眼。把若干纳米网传感器组合起来（每个传感器携带不同的识别分子），便能探测各种特定的基因或蛋白。这样的传感器在医学上用途广泛，而成本却相当低廉。小图展示了在印刷电路板上制作的一块纳米网探测芯片（黑色）。



思·布拉德利（Keith Bradley）和让-克里斯托夫·加布里埃尔（Jean-Christophe Gabriel）与我的U.C.L.A研究小组合作，在塑料上制造出了首批柔性纳米网晶体管。此后不久，我在U.C.L.A的同事又与德国马普固态物理研究所的罗思小组进行合作，制造出了透明的纳米网晶体管，从而使这种晶体管适用于便携式视频显示器。仅仅几个月后，美国伊利诺伊大学的物理学家约翰·罗杰斯（John Rogers）及其同事也取得了类似的成果。

虽然这些场效应晶体管运行速度很快（这是衡量晶体管性能的关键指标），但晶体管的其他一些特性，例如能在低压下正常运行的能力，它们却并不具备。我们的目标，是让晶体管在低于常规电池供电的电压下运行，以达到省电的目的。这一目标直到不久以前，才由罗杰斯和美国西北大学的物理学家托宾·马克斯（Tobin Marks）实现。他们的方法是，采用特制的聚合物使晶体管的导电元件绝缘。

用途广泛

新兴的碳纳米网行业的发展，正处于硅芯片行业 50 年前的那个起步阶段。利用它制造的新型电子将拥有更好的性能，而且成本更低。

碳纳米网可以在多种便携数码产品中发挥与众不同的优势。在这些应用领域中，碳纳米网目前的竞争对手包括有机金属或聚合物金属构成的薄膜，以及某些半导体材料。只要比较一下，碳纳米网的优势便一目了然了。用于这些场合的电子材料必须具有良好的导电性（否则流过材料的电流会有很大一部分变成热量而被白白浪费），而且还需拥有较高的透光性能（因为在显示器等应用中，用户需要看见显示器下面的显像层）。

有了这些性能优异的材料，我们便能开发出许多成本低廉的一次性电子产品了。光电池便是其中一例。传统太阳能电池由单晶硅制造，性能优异，转换效率高达 18%（即可将 18% 的入射光转换为电能），但缺点是比较笨重，生产成本居高不下。相反，用纳米网制造的光电池则薄如刀片，制造成本远低于太阳能电池，可以轻而易举地实现大面积太阳能发电系统的批量生产——这些优点足以抵销它们转换效率低下（仅能把 5% ~ 6% 的入射太阳光转化为电能）的缺点了（参见第 65 页插图）。

阳光射到太阳能电池上时，会在太阳能电池的中间层内撞出电子，同时产生与电子对应的带正电的空穴。随后电子流向一个电极，为各种电器提供电力，最后通过另一个电极返回来与空穴复合，形成电流的完整回路。有几家公司目前正在致力研究高级聚合物和其他各种集透明与柔性于一身的材料，以改进太阳能电池的活性层（即产生电荷的那一层）。在美国斯坦福大学迈克尔·麦吉（Michael McGehee）的材料科学研究小组和奥地利林茨大学的物理学家尼亚齐·塞尔达尔·萨里塞福茨（Niyazi Serdar Sariciftci）的通力合作下，我的 U.C.L.A 研究小组制造出了概念论证型的柔性太阳能电池，其纳米网电极所展示的性能已经可以同氧化铟锡的性能相媲美了。

目前，研究人员也在考虑，将价格低、柔性好、重量轻的纳米网薄膜材料，用作新一代触摸屏或视频显示器的

本文作者

乔治·格鲁纳现为美国加利福尼亚大学洛杉矶分校物理学教授，主要研究与纳米级现象有关的各种基本问题。他还在 Nanomix 公司（位于埃默里维尔市）任技术总监，同时也是 Unidym 公司（位于门罗帕克市）的创建人。这两家高新技术企业专门从事纳米技术新应用的研究开发。格鲁纳的兴趣包括滑冰、古典音乐和技术评估。他的研究得到了美国国家科学基金会的资助。

核心元件。例如，触摸屏可以用两片电极做成，两片电极之间用绝缘层隔开。当手指按在顶层电极上的某一点时，上下两片电极便合在一起，形成一个导电回路。触点不同，形成的导电回路也各不相同，这是由印制在底层电极上的平滑导电材料薄层所决定的。我的研究小组与 U.C.L.A. 的理查德·卡纳（Richard Kaner）研究小组合作，制作并测试了概念论证型的纳米网触摸屏。

纳米管在发光二极管中也有用武之地。发光二极管与光电池颇为相似，只不过工作原理刚好颠倒了过来——光电池是受到光照射时产生电流，而发光二极管则是有电流流过时发光。不久前，我的研究小组与西北大学马克斯的研究小组合作，演示了概念论证型的发光二极管，它们的性能极为优异，完全可以满足诸如电视机之类的应用要求。加拿大蒙特利尔大学理查德·马特尔（Richard Martel）领导的一个研究小组也获得了类似的成果。

此外，纳米网制作的晶体管还可用于印刷电子产品中。

测试表明，碳纳米网的运行速度略慢于单晶硅（目前大多数集成电路芯片的制造材料），但是与聚合物相比，它们的导电性好，经久耐用，这两大优点使它们对设备制造商很有吸引力。虽然纳米管薄膜现在还不能用于笔记本电脑和电视机中，但是它们在其他产品中完全可以与硅等聚合物材料一争高下——特别是那些必须用廉价、柔软、轻巧、有利环保、经得起野蛮使用的材料来制造的产品。预计利用碳纳米网制造的第一款实用产品，将是大面积视频显示器，即有源矩阵显示器（active-matrix display，一种新型柔性显示器，即所谓的“电子纸”）。这种显示器中的晶体管必须有足够快的运行速度，以便图像能够迅速刷新。

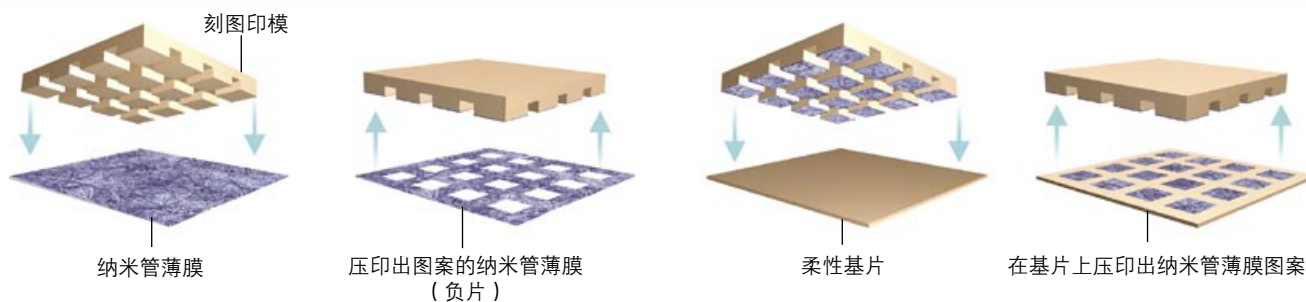
当然，使用这类显示器的便携装置也需要电源，比如廉价、轻巧、薄如刀片、用完即扔的电池和超级电容器。纳米网在这些电源装置中也可以发挥重要的作用，不仅可以充当电极，而且可以用来制作高表面积元件，以便收集电荷并存储起来，供今后放电时使用。

印制纳米网

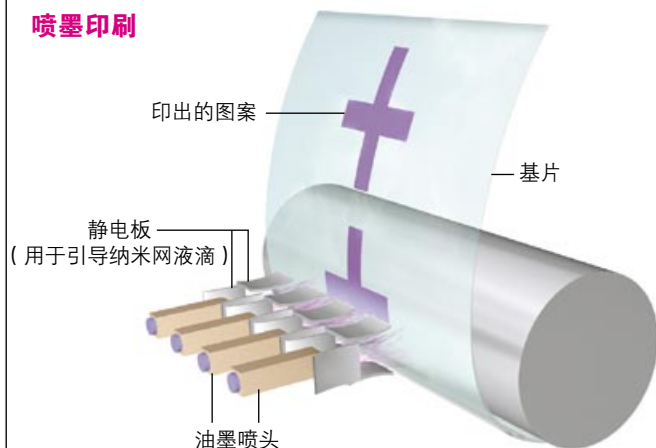
未来的碳纳米网产品制造商正在加紧开发几种低成本的生产方法，把精心设计的纳米网图案“印”到柔性聚合物表面，以制造电子电路等产品。最简单的方法与用墨台和印章来盖印差不多（上）。把刻有图案的印模放在纳米网薄膜上使二者亲密接触，纳米网膜的部分区域便会粘在

印模底表面上。然后把印模压在基片的表面上，这样纳米网图案就被印在了基片表面上。厂商们也在研究两种大规模生产纳米网器件的方法：一种是用标准的油墨喷头把悬浮着纳米管的液体喷在基片上（左下）；另一种则与胶板印刷相仿，只是用纳米网溶液来代替油墨（右下）。

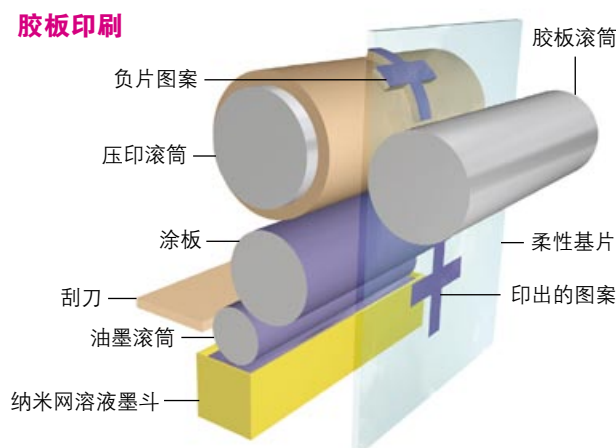
印模压印



喷墨印刷



胶板印刷



碳纳米网研发现状

许多研究开发机构都在生产或开发碳纳米管材料、碳纳米网薄膜或包含这些新颖碳结构的电子器件。一项新技术从最初提出设想到最后投入大规模生产，通常要经历以下几个开发阶段：提出创意，研究开发，概念论证，样品试制，产品开发，最后是正式投产。

机构或公司	重点产品	进展
用于电子产品的高级材料		
CarboLex公司，美国肯塔基州列克星敦市	电弧-化学蒸气沉积法（CVD）制造工艺	投入生产
碳纳米技术公司，美国得克萨斯州休斯敦市	CVD-一氧化碳制造工艺	投入生产
Carbon Solutions公司，美国加利福尼亚州里弗赛德市	基于电弧的制造工艺	投入生产
西南纳米技术公司，美国俄克拉荷马州诺曼市	CVD法生产的特种纳米管	投入生产
Thomas Swan公司，英国康塞特市	大批量CVD法制造工艺	投入生产
透明薄膜		
巴特尔研究所，美国俄亥俄州哥伦布市	透明涂料	研究开发
Eikos公司，美国马萨诸塞州富兰克林市	导电油墨	产品开发
柯达公司，美国纽约州罗彻斯特市	透明光学涂料	研究开发，样品试制
Unidym公司，美国加利福尼亚州门罗帕克市	用于触摸屏、太阳能电池、发光二极管等产品上的薄膜	产品开发
器件		
杜邦公司，美国特拉华州威尔明顿市	透明电子器件	研究开发
IBM公司，美国纽约州阿蒙克市	计算机兼容的晶体管与互连线	研究开发
英特尔公司，美国加利福尼亚州圣克拉拉市	互连线	研究开发
摩托罗拉公司，美国伊利诺伊州肖姆堡	生物与化学传感器	样品试制
Nanomix公司，美国加利福尼亚州埃默里维尔市	化学与生物传感器	产品开发，研究开发
Nantero公司，美国马萨诸塞州沃本市	新型存储器技术	样品试制
三星公司，韩国首尔市	显示器	研究开发
Unidym公司，美国加利福尼亚州门罗帕克市	显示器用印刷电子器件	概念论证

上面介绍的这些可行性研究很快就会变成一系列实用的原型装置，并最终转化为成熟的产品——这一点几乎没人怀疑。新兴的碳纳米网行业的发展，正处于硅芯片行业50年前的那个起步阶段。纳米管的性能正在获得稳步的改进，研究人员把导电性堪与金属媲美的纳米管与半导体纳米管甄别开来的工作也进行得十分顺利，这将使纳米管器件的性能得到进一步提升。与此同时，研究人员在纳米管性能微调技术上也取得了进展，他们开发出一种与硅芯片掺杂工艺类似的技术，在纳米管中加入某些特定分子，以精准操控它们的电气特性。许多观察家深信，这类薄膜超越传统金属的性能，进而闯入至今一直由硅独霸的数码电子技术领域，只是迟早的事情。SA

扩展阅读

Carbon Nanotubes. Mildred Dresselhaus, Gene Dresselhaus, Peter Eklund and Riichiro Saito in *Physics World*, Vol. 11, pages 33 - 38; January 1998.

Carbon Nanotubes and Related Structures. Peter J. F. Harris. Cambridge University Press, 2001.

Nanotubes for Electronics. Philip G. Collins and Phaedon Avouris in *Scientific American*, Vol. 283, No. 6, pages 62 - 69; December 2000.

Carbon Nanotubes—The Route Toward Applications. R. H. Baughman, A. A. Zakhidov and W. A. de Heer in *Science*, Vol. 297, pages 787 - 792; August 2, 2002.

Carbon Nanotube Films for Transparent and Plastic Electronics. George Gruner in *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 16, No. 35, pages 3533 - 3539; 2006.

Carbon Nanotube Transistors for Biosensing Applications. G. Gruner in *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vol. 384, pages 322 - 335; 2006.

终结大停电的 智能电网

一根输电线发生断路，就可能引发连锁反应，让一大片地区陷入黑暗。新一代智能电网能够扭转这一现状。它能实时监测电网的运行状况，及时发现隐患并提出有预防措施。就算故障无法避免，智能电网也能化整为零，切分出若干独立运转的子网，把故障电路隔离开来，将大停电事故扼杀在萌芽状态。

撰文 马苏德·阿明 (Massoud Amin)
菲利普·F·舍韦 (Phillip F. Schewe)
翻译 赵学庆



2003年8月14日，原本是个普普通通的夏日，却让北美的居民刻骨铭心。那天下午两点刚过，美国俄亥俄州北部地区的几条输电线就因电流负荷过大而下垂，擦到了一些大树的树梢，发生了断路。通常，这种电力故障一旦出现，当地电力企业调度室就会发出报警信号，调度员便与相邻地区的调度员联系，重新规划电力传输路线，绕过故障地点。

然而，在那一天，报警软件也出现了故障，致使当地调度员未能发现这一问题。与故障线路相连的整个电力系统绵延数百英里，为美国俄亥俄州、密歇根州、美国东北部各州以及加拿大安大略省提供大量电力，而系统中的其他调度员对此故障浑然不觉。故障点周围的输电线原本已处于满负荷运行状态，现在则被迫超负荷运转。

雪上加霜的是，由于电力企业没有产生出足够的“无功功率”（reactive power，电磁场推动电流沿着电线流动的那部分特性）支持突然变化的电流，俄亥俄州超负荷运转的输电线在

那天下午4:05停止供电。紧接着，一座发电厂也停止发电，破坏了整个电力系统的平衡。越来越多的输电线和发电厂相继脱离系统。连锁反应持续发生，让使用有着数十年历史的老旧设备监控北美大部分电网的调度员措手不及。短短8分钟，美国8个州和加拿大两个省，总共5,000万人失去了电力供应。这是北美历史上发生过的最大的停电事故。

北美洲的这场停电事故只是一个开头。在随后的两个月内，英国、丹麦、瑞典和意大利相继发生大面积停电。2003年9月，从法国到瑞士、再到意大利的电力输送功率出现紊乱，导致5,700多万意大利人陷入黑暗。

除了给生活带来不便，大面积停电还会造成严重的经济损失。如果不对从发电厂到各级变电站的整套输电系统进行彻底检修，问题还将进一步恶化。为了满足越来越多的空调、电脑和充电设备日益高涨的用电需求，我们还必须架设更多的高压输电线。

不过，要解决停电问题，让电网

变得更加智能也许更为重要。目前用于监控电流的设备大部分制造于20世纪70年代。这种控制系统的性能不足以实时跟踪电网中出现的异常情况，无法抢在故障大规模扩散之前，采取相应措施将故障线路隔离开来。这种电网的每一个节点都必须保持警惕，做好应急准备，并与其他所有节点保持联系——一旦某一节点的监控设备失灵，便会埋下隐患。此外，调度员在中央调度室接收的信息至少要延迟30秒，这使得他们不可能作出快速反应，阻止已经开始发生的大规模停电连锁反应。如果有一种自动恢复的智能电网，能够在故障发生初期察觉到异常，并重新分配输电线路来解决问题，就可以大幅减少大面积停电事故的发生，还能遏止可能由恐怖分子的破坏活动引起的混乱。智能电网还能更有效地输送电力，在日常运转中为电力企业和用户节省数百万美元。建造这种智能电网的技术目前基本上都已具备，最近的一些示范项目也展现了这种电网的价值。

陈旧的输电系统

现有电网仍在依靠几十年前的监控系统。这套系统设备陈旧，反应速度迟缓，而日益增加的负荷已经使电力系统的运行濒临崩溃。

现有的输电系统在停电事故面前不堪一击，是100年来电力企业努力减少功率损耗的结果。电能是通过导线传输的，一部分电能会以热量的形式损耗掉，而损耗的功率与导线传输的电流成正比。因此，电力企业总是想方设法提高电压，以减小电流。为了将电能更高效地从发电厂输送给远方的用户，电力企业还建造了越来越长的输电线路，电压也变得越来越高。这些高压输电线路还允许周边地区的电力设施连入电网，彼此扶持，在发电供应和用户需求之间维持一种岌岌可危的平衡。

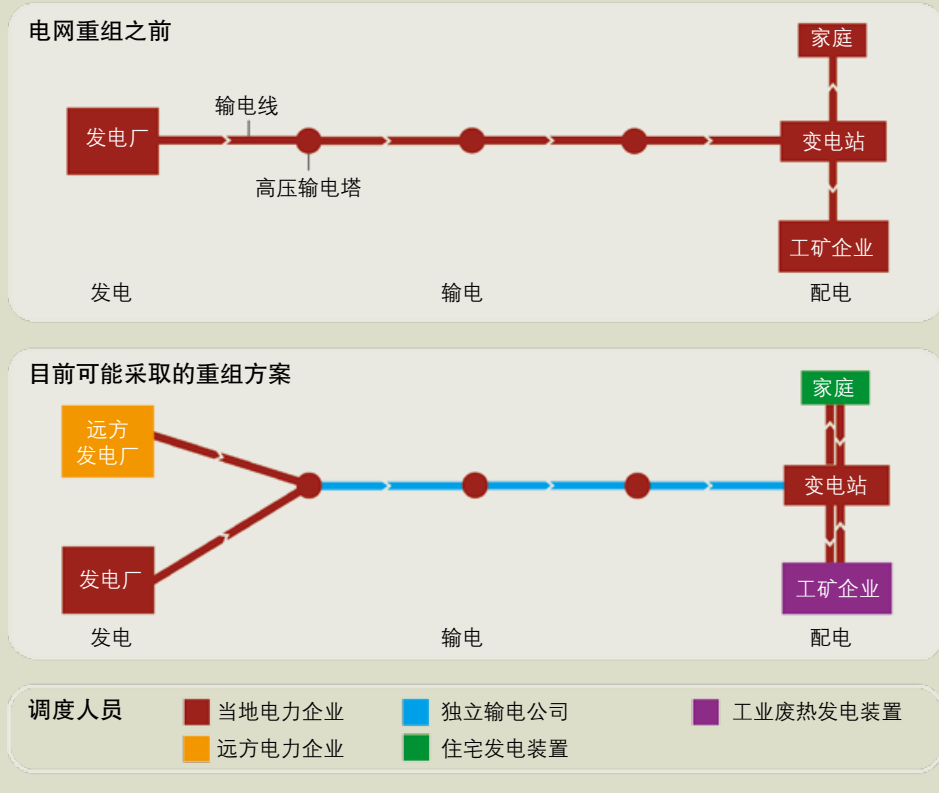
然而，这样的互相连接必然带来某些危险。比如说，某个节点发生故障，就有可能迅速扩散到其他线路。1965年，美国东北地区发生大面积停电事故，促使电力行业创立了北美电力可靠性委员会，来协调各方的行动，共同提高供电系统的可靠性。现在，该委员会已更名为北美电力可靠性协会（NERC）。类似的团体分布在世界各地，比如欧洲的输电协作联盟（UCTE）。

那么，为什么美国的电网如此脆弱，

问题：参与者众，资金缺乏

美国的大面积停电事故不断增加（右页下图），一个重要原因在于电力行业的管制解除，所以必须对电力行业进行重组（下图）。一个电力企业已无法单枪匹马负责某一区域的调度协调工作，现有电网如果不进行升级或扩建，就无法满足日益增长的需求（右页上图）。

解除管制已经分散了对电力系统的管理控制权。



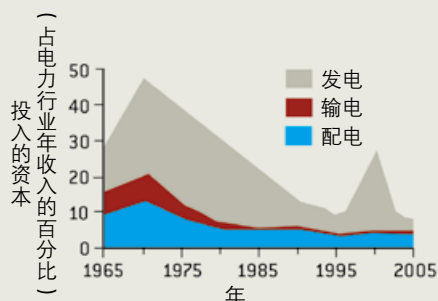
导致了2003年那场大面积停电事故的发生呢？一个重要的原因就是，在输电系统的升级改造方面一直缺乏资金投入。20世纪70年代，燃料价格的迅速上涨和核电站魅力的日益减少，促使美国国会通过立法，意欲引入市场竞争来提高效率。随之推出的

法律使电力行业开始全面变革。电力供应的三大主要任务包括：用大型电厂发电（发电），用高压输电线将电力输送给变电站（输电），再用低压输电线将电力分配给终端用户（配电）。在20世纪90年代变革之前，这三项任务大都由各个地区的电力企业独力承担。如今，许多独立发电厂却通过其他公司的输电线路，将电力销售给或远或近的客户。与此同时，在美国联邦能源监管委员会（FERC）的鼓励下，许多电力企业也在出售它们的部分子公司，以进一步促进市场竞争。电力传输行业已经逐渐变成管制服务和非管制服务的复杂混合体，不同的公司各自掌控着其中的一部分业务。

概述 / 智能电网

- ◆几十年来，人们对电力的需求量一直在稳步攀升，将电力从发电厂输送给用户的输电线却未同步扩建或升级。现有电网已处于超负荷运行状态，使得大面积停电事故更容易发生。这种事故发生的次数和严重程度持续上升，每年给美国造成的经济损失已超过700亿美元。
- ◆即使增设更多的输电线，我们仍须建造一种能够自动恢复的智能电网，才能防止大面积停电的发生。这种电网能够尽早察觉局部故障，在它们迅速扩大之前自动锁定故障线路，并将它们隔离起来。
- ◆每一条输电线、每一个变电站、每一座发电厂和每一个电力企业调度中心都必须安装数字式控制器和实时通信装置。
- ◆这些调度中心还必须升级计算机和软件系统，在大规模停电开始之初，能让调度人员以人工方式接手自动化智能电网的工作。还需要对调度员进一步培训，让他们学会迅速应对突发事件的方法。

美国输电线方面的投入不断减少

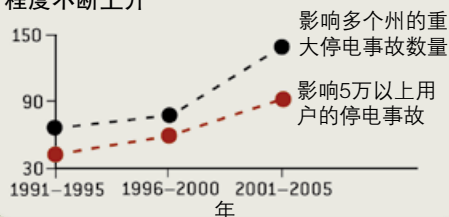


输电能力远远落后于增长的需求

20%
电力需求
增长
[1999年—2009年]

7%
输电能力
增长
[1999年—2009年]

结果：大面积停电事故的发生数量和严重程度不断上升



目前，发电行业基本上已经解除了管制，投资者觉得该行业颇具潜力，值得关注。而输电系统只有一部分解除管制，因此该行业并不明朗的前景令投资者谨小慎微。（配电系统的管制解除工作仍处在初期阶段。）与此同时，尽管接力送电（Wheeling，即通过各地的输电线路接力将电能送往远方）早已存在，但20世纪90年代以来，越来越多的电力采用了这种远程输送方式。电力企业在几十年前建造的、供当地使用的输电线路，至今仍在输送大量电力。

即便输电能力得到提升，停电事故仍然无法避免。由于现有的监控技术（即快速监测小规模线路故障或大

规模不稳定状态发生风险的关键技术）已经陈旧过时，整个电网都必须重新改造。为了保持稳定可靠的运行状态，未来的电网不得不像一架战斗机那样，大多数时间由自动控制系统操作运行，必要时则可由调度员接管，以阻止事故的发生。

现代战斗机配备着大量的尖端传动装置，因此飞行员必须依靠一个由传感器和自动控制装置组成的网络，才能迅速收集信息并采取相应的行动。幸运的是，能够像驾驶战斗机一样控制电网，实时调整输电路线，及时关闭发电厂的一整套软硬件新技术，我们已经掌握了。

可是，改造一个相互联系得如此广泛的系统，是一项极为严峻的挑战。大部分发电厂和输电线都由一个监视控制和数据获取系统（SCADA）监管。这个系统由一些简单的传感器和控制装置构成，提供了三个极为重要的功能：获取数据、控制电厂和发出警报。系统还允许中央调度室的调度员执行某些任务，例如断开或闭合断路器。SCADA会监控安装在发电厂、变电站和输配电线路交叉点的开关、变压器、可编程逻辑控制器（programmable logic controller）和远程终端。该系统还会通过通信信道将信息或报警信号反馈给调度人员。

然而，SCADA技术已有40年的历史，系统中的许多部件速度缓慢，无法应对目前的挑战，系统也无法对整个电网的各个部分实施足够的监控。虽然这项技术可使不同电力企业之间的输电作业得到某种程度的协调，但这一协调过程极其缓慢，很大程度上仍然依靠各公司调度中心调度员之间的电话联系来实现，遇到意外事故，反应迟缓的弱点就暴露无遗。更麻烦的是，系统中大部分可编程逻辑控制器及远程终端装置出现时，整个电力

行业的互通性标准尚未出台，因此相邻电力企业所用的控制协议往往互不兼容。目前电力系统的运转方式已经接近20世纪60年代控制系统的安全承受极限。

自动恢复的智能电网

正在研发的智能电网可以实时监控电力系统的运行状况，在故障发生之前消灭可疑隐患。就算事故不可避免，智能电网也可以隔离故障线路，阻止事故扩散。

相互连接的复杂电网意味着，任何一位调度员或任何一家电力企业，都无法单枪匹马地解决或隔离一起输电故障。实时管理一个现代电网，需要使用更多的自动监测装备，调度员、计算机系统、通讯网络和数据采集传感器之间的相互配合也必须更加默契。此外，每家发电厂和变电站的每一个重要部件都必须配备数据采集传感器。电网的安全运转还依赖于每个节点之间的多路、大容量双向通信信道（这在今天还无法实现），调控中心也必须配备性能强大的计算机设备。整个电网的各个节点还必须安装智能处理器，它们能够在发现停电故障苗头时，对输电线路自动进行重新配置。

要让电网像战斗机一样运行，首先要对整个系统进行重新设计。目前，非线性动力系统、人工智能、博弈论和软件工程等方面的研究，已经开发出一套通用理论，专门指导如何设计一些适应不断变化情况的复杂系统。随同这一新兴学科发展起来的数学和计算技术，正为电网工程技术人员提供一些新的工具。电力行业的一些研究团队，比如本文作者之一阿明在美国电力研究所（EPRI，位于美国加利

福尼亚州帕洛阿尔托市)领导的一个研究小组,已经设计出一些可用于大型区域性电网的复杂自适应系统。好几家电力企业已经开展了小规模试点,在电网中布置了一些聪明的远程终端单元和可编程控制器。它们不需要调度员的介入,就能自动对一些故障进行简单处理。操作人员还可以对它们进行远程编程。当然这些系统还需要经受大规模试用的考验。

能够自动恢复的智能电网可以帮助设计师实现三大目标。首先是实时监测和快速反应。一系列传感器将监测电压、电流等电气参数和重要部件的运行状况。这些监测数据能够让系统不断进行自我调节,达到最佳的运行状态。

第二个目标是预测。该系统必须不断寻找可能引发较大事故的隐患,比如变压器过热等。计算机将评估这些隐患及可能带来的后果,确定若干种补救方案,并模拟每种方案的实施效果,将最有效的解决方案提供给调度人员。调度员则调配电网中的许多自动控制装置,迅速采取相应的措施。电力行业把这种能力称为快速超前模拟(look-ahead simulation)。

第三个目标是隔离。一旦故障发生,整个电网就将拆分为若干孤立的“岛屿”,每一部分都必须独立运作。每座孤岛都将尽最大的努力,重新调整发电厂的运转状态,重新规划电力输送路线。尽管这种调整可能导致电压波动,甚至造成小范围的电力中断,但是却能避免故障向外扩散的多米诺骨牌效应,防止大面积停电事故的发生。检修人员修复故障线路之后,调度人员就可以将每座孤岛平稳地重新

解决方案: 能够自我恢复的智能电网

假设某次雷暴击断了L5和L6号电力线。这种事故一般会造成输电线路故障的连锁反应,导致1号地区大面积停电。但智能电网却能像下图所描述的方式那样,隔离和排除这一故障。首先,调度中心的一台超前模拟计算机在短短半秒钟内,模拟出一些故障排除方案,并给整个电网的所有调控计算机发出指令。



快速反应

0.04秒之后

L5号和L6号线损毁导致L1号线发生故障。调控计算机通知断路器B1和B2断开,将故障隔离,但断路器B2仍处于闭合状态。

0.01秒

发电机G1自动加速运行,以补偿因L5号和L1号线故障造成的发电机G2停止运转而造成的电力损失。发电机G1还加速运行,试图让整个1号地区的线路电压维持在规定的60赫兹交流频率上。

0.4秒

变电站A的调控计算机模拟系统通知断路器B3断开,防止该变电站因过量电流通过而造成损坏。断路器B3断开,L2号线停止供电。发电机G1进一步加速运行,补偿电力损失。

0.5秒

调度中心让发电机G1停止运转,防止其因过度加速运转而造成损坏。

连入整个电网之中。调度员和他们的计算机将构成一种分布式网络,彼此通过微波、光纤或输电线路本身进行通信。一旦恢复供电,系统便会再次自动调整,优化自身的运行状态。

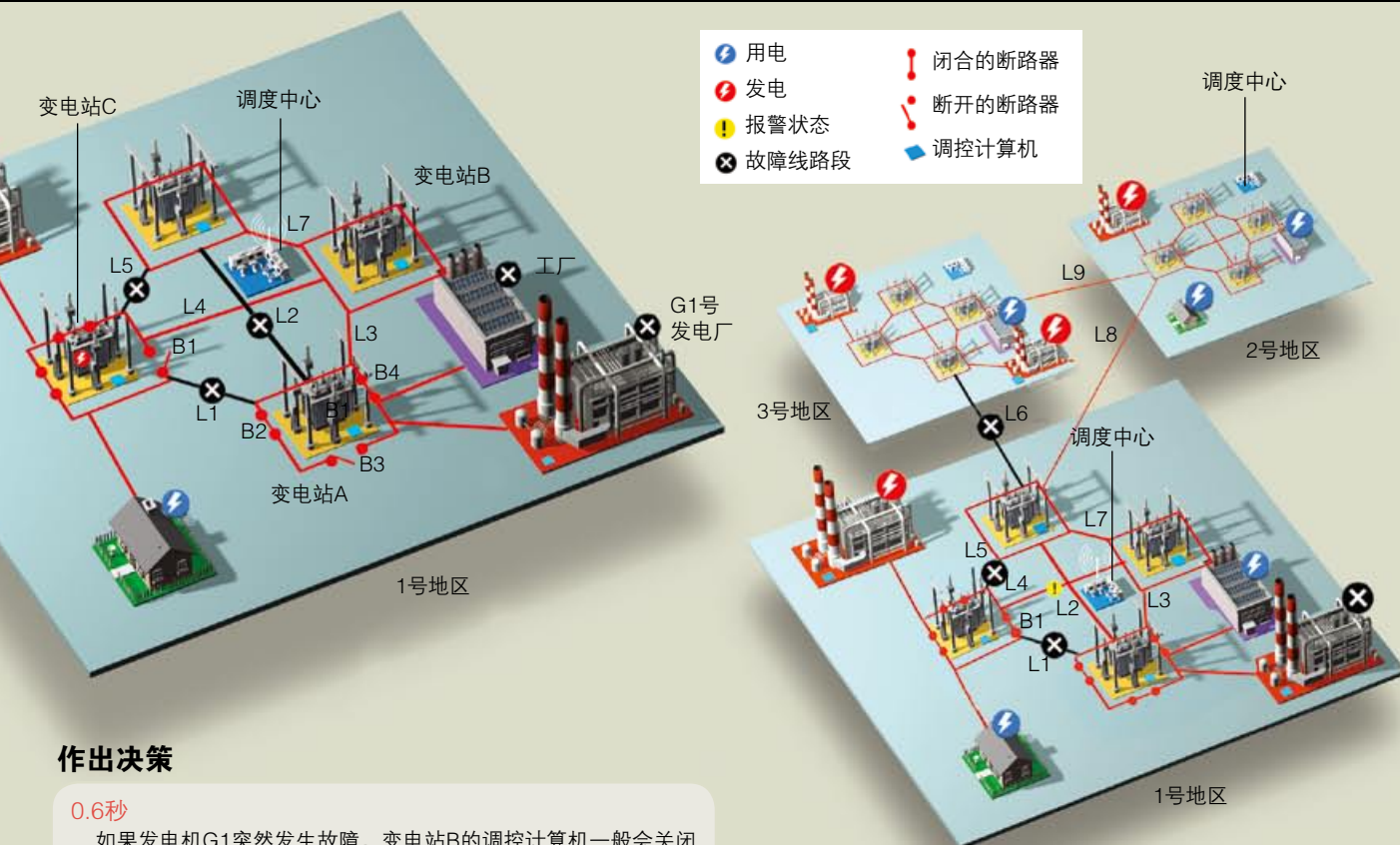
要把现有的电力基础设施改造为能够自动恢复的智能电网,技术人员

必须综合应用若干种技术。先要在每个开关、断路器、变压器和汇流条(bus bar,从发电机中将电流传输出来的巨型导体)上安装一个处理器,还要给每条输电线路配备一个能够与其他处理器通信联系的处理器。所有处理器都能通过内置的传感器,监测各自“辖区”的运行状况。

一旦设备的每一部件都置于监控之下,目前所使用的数百万个电磁开关就可以被固体的电力电子电路

本文作者

马苏德·阿明和菲力普·舍韦多年来一直极力推崇智能电网带来的好处。阿明为美国明尼苏达大学电气与计算机工程教授,并担任该校技术发展中心主任。他曾与美国加利福尼亚州帕洛阿尔托电力研究所合作,领导开发了20多项先进技术,并设计出一种“自动恢复电网”的基本构想。舍韦是美国物理学会首席科学撰稿人,并负责编辑该学会的新闻网站。



作出决策

0.6秒

如果发电机G1突然发生故障，变电站B的调控计算机一般会关闭L3号线，以减少供电需求。但是现在G1发电机是系统有意停止运转的，因此整个1号地区的计算机便发出通知，决定让一家大型工厂停止生产，大大降低供电需求。这一措施减少了发电量与用电量之间供不应求的状况，以保证诸如路灯照明和医院之类的重要职能部门的供电。

10秒

几秒钟之后，由于供不应求的状况仍然十分严重，变电站B的计算机检测到整个1号地区的电压开始波动，波动值超出了安全允许范围，有可能给L3号、L4号和L7号线上的设备造成损坏。这时的应对措施就不再是关闭几条线路，而是由该地区的计算机将发电机G2的控制改为人工操控，并建议1号地区调度中心的调度人员增加发电量或减少用电负荷。调度员会采取其中的一项措施。

恢复正常状态

60秒

L3号、L4号和L7号线已处于空载状态，而L4号线开始出现过载。该调度中心调度人员通过卫星通讯与2号地区的调度员联系，请求帮助。2号地区调度员通过L8号线发送电力；他们还命令其部门的调控计算机稍稍调整供电电流，以平衡因突然借电而带来的电力失衡。一旦线路维修人员修复了受损坏的L5号和L6号线，计算机便让L1号线和发电厂G1马上投入正常运行。至此，三个地区的电力供应全面恢复正常。

(power-electronic circuit) 取代。不过这种电路本身必须加以改进，以便能够处理最高超过 34.5 万伏的输电电压。从模拟设备升级到数字设备，将使整个网络可以用数字方式加以调控，这是实现实时监测和自动恢复的唯一可行的方式。

要完成彻底改造，为每个家庭和企业供电的小型低压配电线路也必须实现数字化。关键的一步，就是用数字电表替换已经使用了几十年的电度

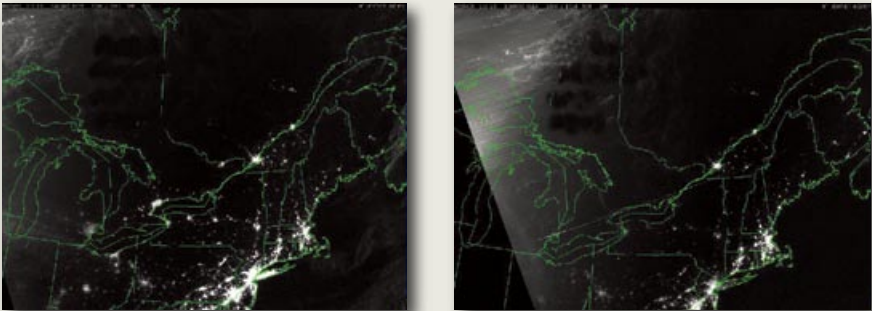
表 (power meter)。数字电表不仅能记录流进某一建筑物的电流，还能监测从该建物流回电网的电流。这将使电力企业能够很好地评估独立生产企业反馈回电网的有功功率和无功功率的数量。数字电表还能让电力企业监测每家每户的电力波动，可以更早发现风险正在增加的隐患，从而改善超前模拟的效果。此外，它还让电力企业能够设置不同的分时电费，鼓励家庭和企业将高耗电设备或机器安排

在非高峰时段运转，减少可能使电网运行不稳定的电力需求高峰的出现。这种数字电表还能根据用户对电费定价变化作出的反应，智能化地调整电网中的电力配送路线。它还是一种重要的工具，可以将传统的电力输送业务扩展为全新的多元化能源服务业务，使电力输送行业像今天的电信行业一样生机勃勃。

从 1998 年到 2002 年，美国 6 所大学的研究机构、两家电力企业和美

人为因素

如果某一地区大面积停电事故开始逐步扩大，并超出了智能电网所能控制的范围，该地区调度室的调度人员还可以手动遏止这一连锁反应。要做到这一点，他们将需要有关该电网的全部最新信息资料、相互兼容的计算机协议、预设的应急响应程序，以及扎实的岗位培训。而在2003年美国大面积停电事故开始迅速扩散时，上面提到的这些必要条件无一满足。下面这段记录是在停电事故开始扩散的头几分钟内，相邻地区的调度员之间的对话，他们当时正在寻求互相帮助，以平衡正在失去控制的电流。对话记录由美国电力可靠性协会公布。



■2003年美国发生大面积停电事故，这里展示了事故发生前（左图）后（右图）一天，美国东北地区夜晚的卫星照片。

调度人员缺少培训，缺乏实时数据资料

AEP调度员：你在萨米斯—斯塔〔线路〕上看到了什么情况？
PJM调度员：对不起，是萨米斯—斯塔吗？我这上面显示的是960，是用蓝色显示的……告诉我，在你的机器上这意味着什么。
AEP调度员：蓝色？正常……我是说……它的上面是什么？
PJM调度员：960，上面是这样显示的。
AEP调度员：那条电路刚刚跳闸了。南坎顿—斯塔。
PJM调度员：跳闸了吗？
AEP调度员：跳闸了，又重新接通了……

相互不兼容的计算机协议，缺乏意外事故应急预案

PJM调度员：我还在观察这两条线路上的电流。我看的是状态估计数据吗？
AEP调度员：也许是吧。
PJM调度员：是的；这些数据有些滞后。你能看到原始数据吗？
AEP调度员：是的；它被断开了。南坎顿—斯塔处于断开状态……我们的麻烦大了……跳闸的线路太多了。东莱马和新图书馆跳闸了。看那里……啊，我的天哪，我们正掉入深渊……
PJM调度员：兄弟，你我麻烦大了。我们该怎么办啊？

信息不完整，缺乏实时数据

PJM调度员：……看起来好像他们都看不到南坎顿—斯塔345号线。你能不能帮我查证一下南坎顿—斯塔345号线上的电流。
MISO调度员：好，我来看看能查到什么。我知道美国第一能源公司也看不到他们的朱利珀线。
PJM调度员：他们也看不到吗？
MISO调度员：他们刚才的数据显示那里一切正常。
PJM调度员：那条线是什么时候跳的闸？有没有可能……
MISO调度员：我还不知道……
PJM调度员：现在我看到AEP系统说萨米斯—斯塔处于1378……
MISO调度员：我来看看。我正在找这条线路，如果它能够……我发现南坎顿—斯塔线断开了，现在我收到的数据是1199，我不知道是不是最新的。
PJM调度员：可能吧。

PJM：美国宾夕法尼亚州—新泽西州—马里兰州电力公司
AEP：美国电力公司
MISO：美国中西部独立系统调度公司

国国防部参与实施了 EPRI 计划，旨在设计一种名为“创新型复杂交互网络/系统”的智能电网原型。这项计划的实施，促使美国能源部、美国国家科学基金会、美国国防部和 EPRI 本身开展了一系列后续研究工作，试图为电网开发一个中央神经系统。研究表明，只要调度人员都能对各地正在发生的情况了如指掌，电网就能以接近理想的稳定状态运行。调度员需要监测系统正在发生的变化情况以及气候会给系统带来的影响，还要全面了解如何最好地维持电力负荷与发电量之间瞬息万变的平衡状态。

EPRI 计划的目标之一，就是要进一步提高调度员预判大规模电网不稳定性的能力。现有的 SCADA 系统需要延迟至少 30 秒，才能评估系统的某一部分是否运转正常，这就如同依靠一个模糊不清的后视镜来驾驶一架飞机。在 EPRI 计划中，快速模拟及建模项目组正在开发超前模拟系统来预测故障，这比实时监控还要迅速，就像一位大师级棋手提前若干步计算出对手的棋招一样。电网的这种自建模（self-modeling）能力，可以通过假定推测分析来避免故障的发生。它还有助于电网的自动修复，在停电或突发故障发生之后，迅速适应新的情况，就像战斗机受损之后立即重组系统继续飞行一样。

谁来埋单

从技术上说，能够自动恢复的智能电网已不是遥不可及的梦想。然而，筹集巨额资金建造智能电网却是另一回事。

建造智能电网的花费极大，不过投资成本并非空前绝后。EPRI 估计，整个美国输配电系统的测试安装可能要花 10 年左右的时间，每年的费用



■美国太平洋西北国家实验研究所的研究人员，聚集在一个模拟区域调度中心里测试原型软件。该软件可给调度员提供实时电网信息——要把大面积停电事故消灭于萌芽状态，这些信息是必不可少的。

支出高达 130 亿美元，占美国电力行业年投资总额的 65% 以上。其他一些研究预计，建造智能电网每年需花费 100 亿美元，用时长达 10 年以上。此外，调度人员的培训也需要花钱。这个花费看起来很高，但是根据相关机构的估计，停电事故每年给美国带来的经济损失就高达 700 亿到 1,200 亿美元——尽管大面积停电事故大约每 10 年才发生一次，但每天都有 50 万美国用户需要忍受两小时以上的停电之苦。

令人遗憾的是，电力行业的研发融资正处于历史上的最低水平，在各大主要工业行业中，仅排在造纸业之前。电力企业必须满足来自用户和管理机构的需要，还要对他们的投资者负责，而股东往往着眼于短期回报，因此智能电网的资金筹集是个巨大的挑战。

此外，一些其他的因素也必须考虑。比如面对恐怖威胁时，电力行业和政府应该各自承担哪些职责；如果

电费不允许涨价，电力企业又该以何种方式筹集资金等等。只有对耐心的投资者作出长期承诺，相关的公营和私营企业联手协作起来，才能真正改善电力行业的基础设施。

美国政府也许已经意识到，他们该出面采取行动了。美国白宫科技政策办公室和国土安全部最近宣布，将“能够自动恢复的基础设施”定为美国支持关键性基础设施保护的国家研发计划的三大战略目标之一。目前，协调性决策的缺乏已经成为该计划实施的一个主要障碍，因此国家的统一监管必不可少。美国各州对电力系统的监管规定基本上各自为政，足以扼杀任何一家电力企业推动全国性计划

的努力。除非美国所有的州都能通力合作，否则对电力行业强制实施全国化将是实现智能电网战略目标的唯一选择。

关键性基础设施能否继续安全可靠地运行，已经成为美国社会的一个重大问题。有了能够自动恢复的输电系统，起码能够将切断电网这类恐怖行动带来的影响减至最小。有了智能电网，大面积停电事故将不再发生，电网将拥有承受破坏的能力，断电次数将明显减少，电力也将更加高效地输送给每一个用户。

如果 2003 年 8 月，美国俄亥俄州地区性输电线发生故障时，能够自动恢复的智能电网已经安装到位，接下来的情况就会迥然不同。在那根下垂的输电线出现故障的几小时之前，位于输电线一端的故障预测装置就会检测到一些异常信号，进行自我调整，让电流改道绕过这条输电线，将这一隐患隔离开来。超前模拟系统将确定该输电线发生故障的可能性较高，电网沿线和调度中心具有自我建模能力的软件会预判出事故最终的发展态势，提出最合理的补救应对措施。调度员将批准并实施这一应变方案。如果最终输电线的故障无法排除，传感器网络便会检测出电压波动，并将情况通知附近变电站中的处理器。这些处理器会重新规划路线，通过电网的其他部分传输电力。在这种情况下，普通人最多会看到灯光稍稍闪烁了一下，大部分人根本察觉不到任何异常。☞

扩展阅读

Technical Analysis of the August 14, 2003, Blackout: What Happened, Why, and What Did We Learn? North American Electric Reliability Council, 2004. Available at www.nerc.com/filez/blackout.html

Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century. Massoud Amin and Bruce F. Wollenberg in IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 3, No. 5, pages 34–41; September/October 2005.

The Grid: A Journey through the Heart of Our Electrified World. Phillip F. Schewe. Joseph Henry Press, 2007.

把一只猫从树的左侧或右侧经过的痕迹抹去，这只猫就是从树的两侧同时经过的。听起来像天方夜谭，但这正是量子世界的诡异之处。利用一些唾手可得的小装置，你也可以自己动作，制作一个量子橡皮擦，把已发生事件的信息抹去，从而影响过去发生的事情。

自制量子橡皮擦

撰文 拉赫尔·希尔默 (Rachel Hillmer)
保罗·奎亚特 (Paul Kwiat)
翻译 王志伟 黄运锋
审校 郭光灿

量子力学向我们展示了大自然的诡异。我们在日常生活中通过感知现实形成的最根深蒂固的常识，在量子世界里，却被颠覆了：矛盾的事情可以共存，比如一个物体可以在同一时刻沿两条不同的路径运动；物体不能同时拥有精确的位置和速度；我们观察到的事物的性质遵从着无法根除的随机性，而这种随机性与我们使用的工具或眼力的好坏没有任何关系。

在量子世界中，决定论的时代已经一去不复返，原子和其他粒子不再像绿色球台上的桌球那样规则运动，相反，它们有时候表现得像波，会扩散到整个区域，并且能够彼此交叠，形成干涉图样。

然而，这些不可思议的现象看起来都离我们的日常生

活十分遥远。对于微观系统，比如束缚在原子中的电子，量子效应才最明显。也许你已经大致了解，量子现象构成了绝大多数现代科技的基础，你或许还认为，各种奇特的量子现象只能在实验室里演示，在家里你只能从电视上的科学节目中看到它们。但事实并非如此。

在第80页和第81页，我们会教你做一个实验，来演示所谓的量子擦除效应 (quantum erasure)。这个效应涉及量子力学最怪异的特性之一——略施小技我们就能改变过去已经发生的事件。

在解释什么是量子擦除效应并介绍这个实验之前，我们有必要先强调一点：如果你成功地完成了实验，你会看到光的干涉图样，但这种图样也可以用光的经典波动理论来解释，

而不需要引入量子力学。因此从这一点看来，这个实验似乎是个骗局，不能充分展示这个效应的量子本质。

然而，构成光波的每一个光子确实按照量子规律在运动，并且具备了所有的奇异特性，不过要证明这点，你必须每次只发送一个光子经过实验装置，并逐个对它们进行探测。遗憾的是，这样的实验目前无法在普通的家庭中实现。尽管如此，在进行我们即将介绍的实验时，一边观察干涉图样，一边想象它对应于单个光子的情形，你还是能够亲身领略量子世界的的神奇。

如果你想直接开始实验，请阅读后两页中的详细介绍。下面的内容将深入探讨量子橡皮擦的科学原理。这些解释将帮助你理解，在这个自制量子橡皮擦实验中看到的现象，到底有什么奇异之处。

量子橡皮擦擦去了什么？

量子力学的奇异特性之一就是，事物呈现出来的行为依赖于我们对它所采取的研究方式。因此，一个电子既可以表现为粒子，也可以表现为波，具体取决于我们让它经过何种实验装置。举例来说，在某些实验中，如果我们探测一个电子的运动轨迹，它就会突显出粒子性；如果不去探测电子轨迹，它则显现出波动性。

这种波粒二象性的一个标准演示，就是所谓的双缝实验（two-slit experiment，本文介绍的自制量子橡皮擦实验与它类似，只是我们采用了两条光路，而不是两条狭缝）。一个粒子源朝有两条狭缝的屏幕发射粒子（比如说电子），粒子从狭缝中穿过之后，打在第二个屏幕上，产生一个亮点。从某种程度上说，每个粒子抵达的位置是随机而不可预测的，但是成千上万个粒子累积下来，它们打在屏幕上的亮点却能构成一个确定的、可以预测的图样。当实验条件适于展现粒子的波动性时，产生的就是干涉图样。在双

缝实验中，干涉图样是一排模糊的亮条，被称为干涉条纹（fringe）。那里是大多数粒子抵达的地方，而在条纹之间的空隙中抵达的粒子就非常少。

只有当每个粒子都能从双缝中的任意一条通过，同时又无法确定它从哪条缝通过时，干涉条纹才会出现。此时，两种路径是不可区分的，每个粒子都表现得犹如同时从两条狭缝中穿过一样。按照现代对量子力学的理解，当几种不可区分的可能性以这种方式结合在一起时，干涉就发生了。

当两种以上的可能性共存时，这种情形就被称为量子叠加（superposition）。1935年，埃尔文·薛定谔（Erwin Schrodinger）提出了著名的“薛定谔猫”，充分显示了量子叠加的不可思议。（薛定谔猫被关在一个密封的盒子里，无法被观察。它的生死由某个原子核是否发生衰变而定。由于衰变是随机事件，在打开盒子观察之前，原子核处于衰变和没有衰变这两种情况的叠加状态，因此猫也就处于既生又死的奇异状态之中。）当量子干涉现象发生时，实验中有待观察的事物就像“薛定谔猫”一样。不过，双缝实验中的“猫”并非同时处于生死两种状态，它正从一颗树旁悠闲地经过，而且同时从树的两侧走过。

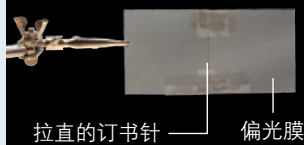
一旦我们观察这个盒子的内部，薛定谔猫就不再处于叠加态了：我们看到的不是活猫，就是死猫，不可能两种情况同时发生。（不过也有一派观点是这样解释的：在观察时，我们自身也变成了看到死猫和看到活猫的叠加态。）如果用一盏聚光灯照亮树的周围，我们会看到量子猫要么从左侧经过，要么从右侧经过，不可能同时从两侧经过。与此类似，当粒子经过双缝时，我们也可以用一些测量工具来观察每一个粒子。假设用一束光照射两条狭缝，每个粒子从某一条狭缝中穿过时，都会散射光子，于是我们就能看到相应的狭缝发出了闪光。这样的闪光让两条可能的路径变得可以区分，破坏了叠加性，而粒子最终抵达屏幕时，

你需要为这个实验准备些什么

- 一间暗室。
- 偏光膜（Polarizing film）。灰白色的高质量（实验级）偏光膜能够取得最佳效果；不要购买染有颜色的偏光膜。你需要把膜切割成6个方块，每块边长约5厘米。第82页上的短文描述了偏光膜对光子的作用。
- 激光源，例如激光笔。如果你的激光笔发出的是偏振光，则让它的偏振方向与竖直方向呈45度夹角。如果发出的不是偏振光，请在每一步实验过程中，将一块45度方向的偏光膜置于激光笔笔尖处。另外，还要用一根胶带缠住激光笔，让它持续发光。
- 一根细而直的金属丝，比如拉直的订书针或者曲别针。越细越好。
- 一些锡纸，一根用来在上面扎孔的大头针。光束穿过锡纸上的针孔后，会扩散成一束窄圆锥光束。使用针孔会使干涉图样变暗，但效果会更好。
- 一些架子，用来安置激光笔和偏光膜。可以用食品包装盒来制作。
- 一块用来显示最终干涉图样的屏幕。如果家里墙面够平的话，就可以当作屏幕，否则用一张白纸也行。

家中的量子擦除实验

这里列举的实验步骤，介绍了在家里观察量子擦除现象的方法。如果想知道实验结果究竟有什么奇异之处，请阅读正文中对量子橡皮擦科学原理的深入探讨。

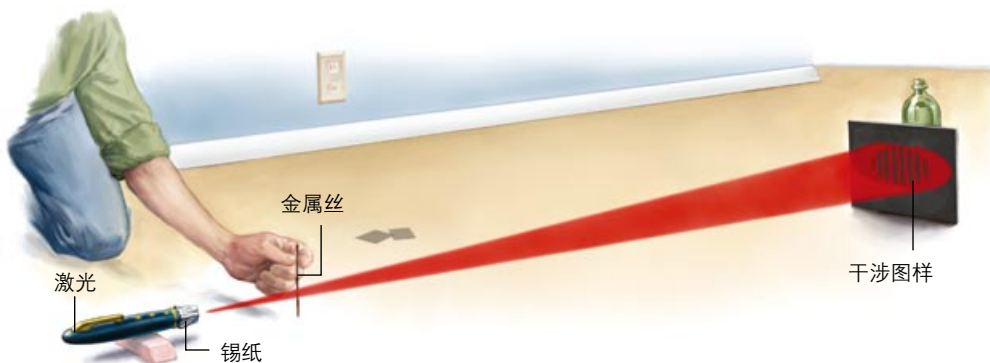


1 看到干涉

- 用锡纸包住激光笔笔尖，在上面扎个针孔，让一部分激光束射出来。
- 架好激光笔，让它离屏幕至少两米远。它应该在屏上产生一个圆形光斑。
- 将金属丝竖直放置在光束的中间位置。

发生的现象：如图所示，你将在屏幕上看到干涉图样，它由一排明暗相间的条纹组成。干涉图样出现的原因是，从金属丝左

边经过的光和右边经过的光合在了一起，发生了干涉。如果在金属丝后面很近的距离上放一张白纸，就会看见金属丝的影子两侧各有一片光瓣。这两片光瓣逐渐扩散，抵达屏幕时大部分已经重叠。对于每一个打在屏幕上重叠区域内的光子来说，不可能知道它是从金属丝的左边还是右边经过的，这两种可能的路径叠加在一起，就产生了干涉条纹。尽管你观察的是亿万光子，但每个光子其实只和自己发生干涉。



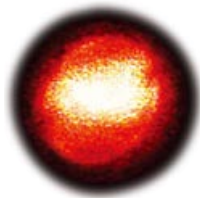
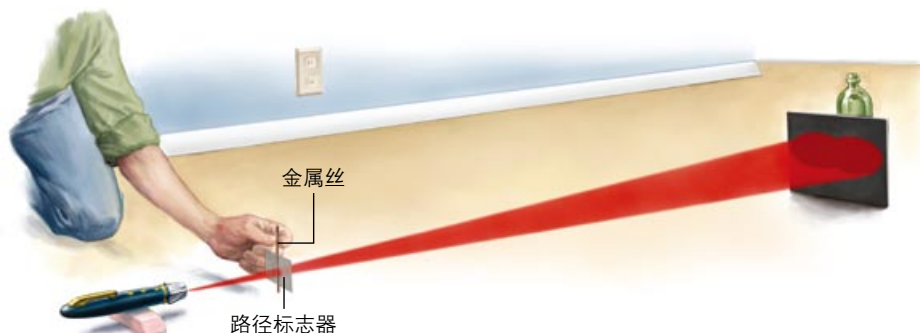
实验中拍下的干涉图样。左侧示意图中显示的干涉图样的尺寸和特征都是经过夸大的。

2 标出路径

- 拿两块偏光膜，旋转其中一块，让它的偏光轴与另一块偏光膜的偏光轴垂直。你可以将两块膜叠在一起检验：偏光轴互相垂直时，光线无法从它们重叠的部分中通过。
- 将两块膜用胶带并排粘在一起，不要留下空隙，也不要重叠。请沿着膜的上边缘和下边缘粘胶带，以防胶带挡住光束。我们把它叫做路径标志器。

- 把标志器放置在光束中，使两块膜相连的地方正好位于金属丝后面。最简单的做法是把金属丝附在标志器上。在接下来的实验里，我们不会再移动金属丝和标志器。我们将左边偏光膜的偏光轴方向称为竖直方向，标记为V，右边偏光膜的偏光轴方向称为水平方向，标记为H。这只是为了方便描述而起的名称，实际的偏振方向未必如此。

发生的现象：即使光束仍然从金属丝两边经过，干涉条纹还是消失了。如果一个光子是从金属丝左边经过射到屏上的，它必然是V偏振的；如果从右边经过，则必然是H偏振。因此，路径标志器使光子携带了标明自身从哪条路径经过的信息，从而阻止了干涉的发生。



3 选出经过左边的光子

■ 将第三块偏光膜（我们称之为“分析器”）置于标志器和屏幕之间，并将它的偏光轴旋转至V偏振方向。

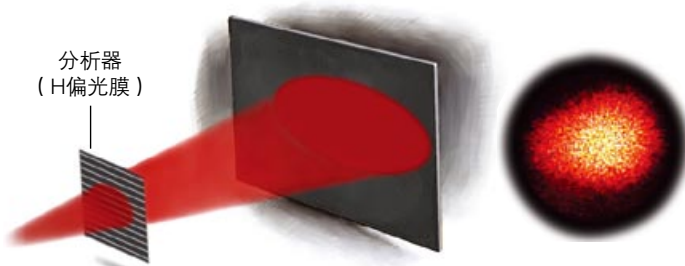
发生的现象：分析器会挡住所有从金属丝右边经过的光子（因为标志器会将它们变成H偏振光），而让左边经过的光子通过。现在，屏幕上的图样与上一步中几乎一样，只是右侧更暗、更小一些，因为这完全是左侧的光瓣扩展而成的。利用分析器，你“读取”了标志器提供的信息：现在你知道，打在屏幕上的这些光子都是从金属丝左边经过的。



4 选出经过右边的光子

■ 把分析器的偏光轴旋转至H偏振方向。

发生的现象：H偏振的分析器挡住了金属丝左侧的光瓣，只让右边的通过。如果你能测量屏上的光强（或光子数目），就会发现第2步中的光强正好是第3步、第4步的屏上光强之和。值得注意的是，在第2步中，虽然你还没有“读取”光子的偏振信息，干涉条纹就已经消失了。可见，有没有读取信息并不重要，只要这种信息可以被读取，干涉条纹就会消失。



5 擦除路径信息

■ 将一块偏光膜的偏光轴从V偏振方向顺时针旋转45度，我们把这个方向称为对角方向，标记为D。

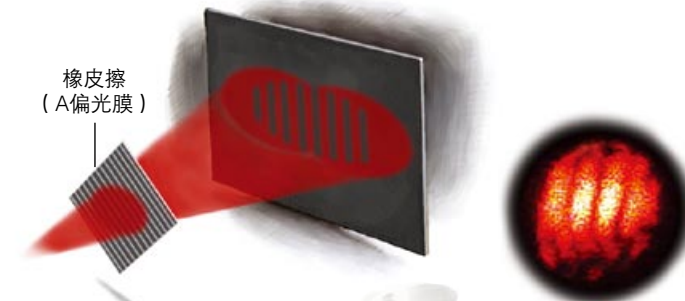
发生的现象：干涉条纹再次出现了！为什么？因为偏光膜抹去了每个光子所经路径的信息。现在每个从左边经过的V光子有50%的几率穿过偏光膜到达屏幕，右边的H光子也一样。两种情形下，到达屏幕的光子都变成了D偏振，因此无法分辨每个光子是从哪边经过的。于是，每个光子似乎又同时从两边经过，与自身发生了干涉。



6 反向量子橡皮擦

■ 将偏光膜的偏光轴从V偏振方向逆时针旋转45度角，我们把这个方向称为反对角方向，标记为A。

发生的现象：干涉条纹再次出现——第5步中的分析对于A偏振的橡皮擦也完全适用。不过，如果靠近仔细观察的话，你会发现这两种情况下的干涉条纹略微错开了一点。A偏振橡皮擦产生的干涉图样中的亮纹，恰好是D偏振橡皮擦干涉图样的暗纹，反之亦然。如果你能够把它们的光强（或光子数目）相加，就会得到第2步中观察到的图样，看不到任何干涉条纹。



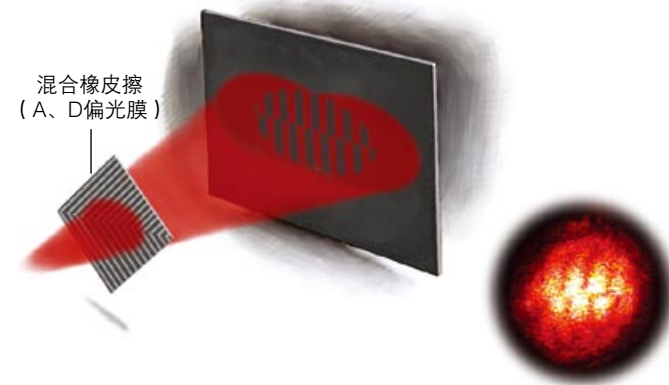
7 同时使用两种橡皮擦

■ 将D偏光膜和A偏光膜都沿水平对角线方向剪开。

■ 把D的上半部分和A的下半部分合在一起。

■ 把这个混合橡皮擦放在光路中。

发生的现象：D偏振橡皮擦对应的干涉条纹出现在光斑的上半部分，而A偏振橡皮擦的相应条纹出现在下半部分。干涉图样看起来就像没有对齐的牙齿。这个图样清楚地显示了两种量子橡皮擦的明暗条纹是如何对应的。



结论

思考一下在每一步实验中光子都做了些什么。

■ 在某些步骤（3和4）里，每个光子都从金属丝一边或另一边经过（没有干涉），而在另一些步骤（1，5，6和7）里，它们看起来是同时从两边经过的（产生干涉）。

■ 光子经过金属丝后遇到的装置（分析器、橡皮擦，或者只有一块屏幕），似乎决定了光子先期到底从金属丝的两边同时经过，还是只从其中一边经过。

■ 步骤6和7表明，有关光子所经路径的信息，可以有不止一种的擦除方式。擦除之后产生的干涉条纹可以与原先相同，也可以相反。



偏光膜对光子干了些什么？

偏光膜有一个偏光轴（在我们的示意图中，用画在膜上的线条来表示），它只允许偏振方向平行于轴的光通过。你可以把光想象成两个人手持着绳子抖动而形成的波——这种波使绳子上下振荡，或左右振荡，或者沿着任意角度振荡。振荡的角度就是波的偏振方向。

如果把光比喻成绳子的波动，那么偏光膜就像一个平行排列的木条组成的栅栏：它让那些振荡方向平行于木条的波不受阻碍地透过，阻挡与木条垂直的波，并让沿着其他角度振荡的波部分通过（振幅相应减小）。最重要的是，从偏光膜另一面射出的波（如果有的话），偏振必然与膜的偏光轴平行。

以上是经典的波动理论对偏光膜的作用所作的描述，量子力学对此的描述略有不同。光是由一个个叫做光子的粒子构成的，每个光子都像波一样拥有一个振荡方向。当一个光子打在偏光轴方向与其振荡方向平行的偏光膜上时，每一次都能顺利通过；如果遇到其振荡方向垂直的偏光膜，便会百分之百被阻拦下来；如果两者呈45度夹角，它就有50%的几率可以通过（确切的概率会随角度的变化而改变）。最重要的是，当一个光子确实穿过了一块偏光膜后，从另一面射出时，它的偏振方向将与偏光膜的偏光轴方向平行。

光也可以是非偏振的，也就是说，组成它的光子的振荡方向是随机的。这种情况下，也会有半数的光子通过一块偏光膜，而且通过后的光子偏振总是平行于偏光轴。

把两片偏光膜放在一起，你就会看到它们是如何发挥作用的。旋转其中一片时，如果两者的偏光轴平行，你就能清楚地透过它们观察事物；如果相互垂直，那就几乎完全看不到东西；成其他角度时，则可以隐约看到膜后的物体。这一现象的原因在于，穿过第一片偏光膜的光子，偏振方向总是与偏光轴保持一致，当它们穿过第二片偏光膜时，能够穿透的几率就取决于它们偏振方向的夹角了。

当两片偏光膜的偏光轴相互垂直时，如果把第三片偏振轴方向介于两者之间（最好是45度夹角）的偏光膜插入它们中间，会发生一些十分有趣的现象。也许你会以常理推断，这片偏光膜会成为阻挡光子通过的又一障碍。事实却是，它会让原本不透光的偏光膜组合，变成半透明（让一部分光子得以通过）。试试看你能不能自己解释这个现象。事实上，我们自制的量子橡皮擦，也依赖于45度角的偏光膜对光子发挥的影响。



也不会形成干涉条纹，而是呈现出一块毫无特征的亮斑。科学家们进行了多次类似的实验，结果正如量子力学所预言的那样，没有产生任何干涉图样。

实际上，我们不必去探测闪光，确定每个粒子走过的路径。只要闪光中包含粒子所经路径的信息，并且这种信息可以通过某种方式被观测到，干涉图样就会消失，我们有没有进行观测并不重要。

现在，终于可以回到量子橡皮擦这个主题上来了。这种橡皮擦可以擦去指示粒子经过哪条路径的信息，使各种可能的路径重新变得不可区分，从而恢复干涉状态。

量子橡皮擦是如何做到这一点的呢？假设每个粒子经过狭缝时散射出的“闪光”都是一个光子，要让这个光

子能够指示粒子的经过路径，就必须能够分辨出光子是从哪条狭缝发出的（只要理论上能够分辨即可）。这意味着，我们必须有能力以足够的精度，测量出每个散射光子的位置，来区分这两条狭缝。然而，海森堡不确定性原理（Heisenberg's uncertainty principle）告诉我们，如果精确测量光子的动量，光子的位置就会变得更加不确定。因此，如果我们让光子经过一个透镜，让它们的动量信息可被测定，它们的位置信息就被擦除了。如此一来，粒子可能经过的两条路径就再次变得不可区分，干涉也就得以重建了。

我们暂时忽略最后一个技术细节，先停下来好好想想，刚才描述的擦除过程中到底发生了什么，因为这正是量子世界的奇异之处。如果探测一个光子发生散射的位置，我们就可以从中得知相应的粒子从哪条狭缝中穿过——这意味着粒子确实穿过了这条或那条狭缝，并非同时从两条狭缝穿过。然而，如果不去探测光子的位置，而是去探测它们的动量，我们将无法知道粒子到底穿过了哪条狭缝。更有甚者，当我们探测了大量光子的动量，并观察到干涉图样出现时，我们便可推断，在这种情况下，粒子是同时从两条狭缝中穿过的（不然就不可能出现干涉）。

换句话说，“粒子到底是从一条还是两条狭缝中穿过”，这个问题的答案取决于我们在它穿过狭缝之后，对它所散

本文作者

拉赫尔·希尔默和保罗·奎亚特都来自美国伊利诺伊大学。希尔默是奎亚特实验室的一名本科生。奎亚特现任该校物理系主任，他的研究领域包括量子盘查和量子擦除、量子信息协议的光学应用，以及与量子力学无关的摇摆舞。希尔默目前正致力于探索用光来编码量子信息的新方法。

本文审校

郭光灿，中国科学院院士，中国科技大学学院常务副院长，国家科技部973项目“量子通信与量子信息技术”首席科学家，主要从事量子光学、量子密码、量子通信和量子计算的理论和实验研究。本文的两位译者是他的学生。

射的光子做了什么。看起来，我们对光子所作的测量，似乎影响了过去发生的事件。我们既可以确定粒子经过了哪条狭缝，也可以用量子橡皮擦将此信息从这个世界上抹去。

最奇怪的是，我们可以在粒子经过狭缝之后，再决定进行哪种测量。我们可以把两种测量所需的装置都准备好，加上一个转换开关，在光子即将到达之际选择其中一种。物理学家把这种方案称为延迟选择实验（delayed-choice experiment）。这个想法最早起源于尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）和爱因斯坦在1935年展开的一场有关量子力学与实在本性的争论。到了1978年，美国得克萨斯大学奥斯汀分校的约翰·A·惠勒（John A. Wheeler）才系统地归纳并扩展了这个概念。

现在，一些特别聪明的读者也许会开始担忧，因为他们想到了一个似乎会破坏上面这些论述的基本问题：为什么我们不能等到粒子已经打到第二块屏幕，看到它们是否形成干涉图样之后，再来决定到底对光子进行哪种测量呢？事实上，我们可以做到这一点，只要把第二块屏幕放得离双缝足够近，再把光子探测器放得足够远就行了。那么，假如我们在看到粒子形成干涉条纹之后，再选择对光子进行位置测量（这样做会阻止干涉图样的形成），会发生什么事情呢？这难道不是自相矛盾吗？我们显然不可能指望已经形成的干涉图样消失！类似的推理还表明，我们能够利用延迟选择实验，在任意距离上瞬时传递信息（也就是说，此时的信息传递超越了光速的限制）。

我们此前忽略的那个技术细节，现在可以登场救急了。要想在使用量子橡皮擦之后，观察到干涉图样，我们先得把这些粒子分成两组，分别对它们进行观察。其中一组会形成原先的干涉图样，另一组则会形成与之相反的图样——也就是说，这一组中的粒子大多数将打在原先干涉图样的暗纹处，而不是原来亮纹所在的位置。两组合并在一起，就填满了所有的条纹间隙，从而将干涉图样隐藏了起来。

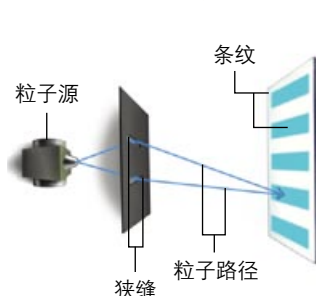
自相矛盾的情况不会发生，因为只有光子测量数据才能告诉我们，到底哪一个粒子属于哪一组。因此，在我们没有作出选择，没有完成光子测量之前，是不可能观察到干涉图样的。在我们介绍的家庭实验中，粒子的分组是自动完成的，其中一组被偏光膜挡住了，因此你可以用眼睛直接观察到通过偏光膜的那一组光子形成的干涉图样。在实验的最后一步，你还可以看到两组光子形成的干涉图样并列出现的情景。

从实用的角度出发，无法超光速传递信息、无法创造自相矛盾的情景，这未免有些令人失望。但物理学家和逻辑学家却认为，这是一件再好不过的事情了。[S]

量子橡皮擦如何发挥作用

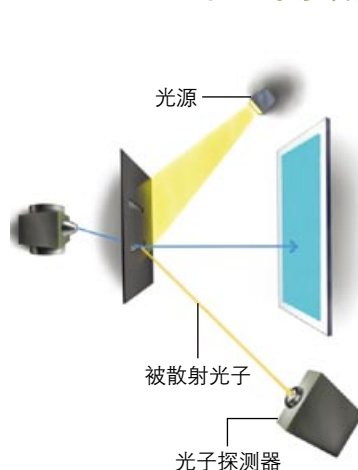
量子粒子的行为方式，取决于我们能够获取多少有关它们的信息。量子橡皮擦抹去了一些信息，因此恢复了干涉现象。以下面的双缝实验为例，我们可以更加容易理解量子橡皮擦的作用。

产生量子干涉



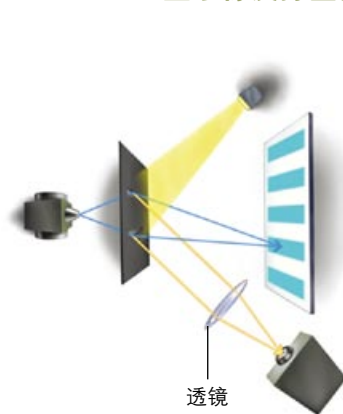
经过双缝的粒子在检测屏上产生一些明暗相间的条纹。大部分粒子打在蓝色区域之中，只有极少数抵达白色区域。只有当每个粒子都从两条狭缝中同时穿过，并抵达屏幕时（箭头所示），这种干涉图样才会出现。

阻止干涉发生



如果粒子和某些东西作用，由此确定粒子从哪条狭缝中穿过，干涉条纹就不会出现了。例如，粒子穿过狭缝时，可能会散射一束光中的某个光子（黄色所示），而这个光子能够显示粒子是从右边的狭缝穿过的。不论我们有没有探测这个光子，只要它携带了粒子从哪条狭缝中穿过的信息，而且这一信息在理论上可以被获取，干涉条纹就会消失。

量子橡皮擦重建干涉



量子橡皮擦抹去了粒子从哪条狭缝中穿过的信息。例如，即使粒子散射了一个光子，透镜也可以使我们无法确定光子在哪条狭缝被散射。这种情况下，对应的粒子似乎仍和原来一样，同时从两条狭缝中穿过，于是干涉条纹再次出现。这种量子擦除效应的最奇特之处在于，粒子在狭缝处的行为，似乎取决于光子在粒子穿过狭缝之后的遭遇。

悉尼·波苏洛执著地认为，挽救亚马孙土著人的正道是避免与他们接触。尽管许多人反对他的主张，他仍然期望互不干扰的策略能够推广开来。

为最后的美洲人请命

撰文 克劳迪奥·安杰洛 (Claudio Angelo)
翻译 郭凯声

长着一脸灰白胡子，脑门开始变秃的悉尼·费雷拉·波苏洛 (Sydney Ferreira Possuelo) 在巴西利亚的私人公寓品着咖啡。说起自己毕生努力的三件事，他的眼神变得黯淡：“凡事都有结束的一天。森林消失之日，土著人也将消失，塞坦尼斯塔派 (sertanistas, 葡萄牙语，意为土著研究专家) 也将退出江湖。” 67 岁的波苏洛认为，以保护巴西丛林中与世隔绝的土著居民为宗旨的塞坦尼斯塔派，甚至会比土著人更早绝迹。



悉尼·波苏洛：保护土著民族

◎ 致力于保护亚马孙热带雨林中土著人的生活方式 (图片为波苏洛与一位科鲁波族妇女的合影)。

◎ 巴西曾经拥有 1,000 个土著族群，土著人总数大概有 400 万。如今只剩下 220 个土著部落，总人数不到 73.4 万。

◎ 在谈到被解除公职一事时，他说：“在政府眼里，只有唯命是从才算是好公务员，可惜我不是。”

波苏洛的忧虑不无道理。算上他在内，眼下塞坦尼斯塔阵营仅剩下五个人。他们深入亚马孙热带雨林最偏僻的地方，寻找生活在那里的土著部落，抢在开矿人、牧场主、伐木商之前同土著人接触 (这些人一旦闯入，多半会与土著人发生冲突)。波苏洛等人的工作，就是设法让各种建设工程绕开土著部落。但塞坦尼斯塔阵营面临着后继无人的尴尬局面，他们最后一次引入新人已是二十年前了。而这批有着丰富实战经验的“老古董”，已经有不少人作古，其他人则选择了退休。

波苏洛倒是既没有死也没有退休，却因藐视上司，公然批评巴西全国土著居民基金会 (FUNAI) 总裁的谈话，于去年被基金会炒了鱿鱼。(那位总裁宣称，土著巴西人手中掌握的土地可能太多了。) 目前波苏洛的工作是，通过美洲国家间土著人协会来协调各方面的活动，此协会隶属于一家致力于保护孤立土著人部落的多国团体。

在波苏洛的努力下，巴西联邦政府已经明显改变了土著人部落政策。他曾游说政府不要去干预土著人的生活，让他们继续过“史前”生活，并由他们自己决定是否要接触外人。在 20 世纪末以前，主流观点是土著人应“融入”社会。一般人的想法是，既然文明是全人类的财富，非土著人和土著人均有权享受，那我们理应把土著人请出深山老林，分享文明的果实。

但现实却与这种看似明智的想法背道而驰。由于缺乏对流感和其他疾病的免疫力，在与外人接触后，许多土著人染上疾病甚至死亡；不少土著居民被赶出世代居住的家园，眼睁睁地看着自己的土地变成一条条公路、一座座大坝、一片片牧场；许多土著人惨遭杀害，这种罪行甚至得到政府官员的首肯。但对土著人伤害最深的，莫过于文化错位。

波苏洛说，当你首次遇到一个陌生族群的时候，“你得分外提高警惕，他们会牛气十足地向你喊叫，会用弓箭袭击你，甚至可能会干掉你。”然而，与外

界的接触会彻底改变这一切。“一年之后，他们一个个变得有气无力、消瘦憔悴，站在路边低头哈腰，乞求你施舍一点食物和钱。”阿拉拉人（Arara）便是一个实例。这个部落曾因多次袭击公路工作人员而被称为“亚马孙公路之患”。但现在，他们不过是一群可怜兮兮的贫苦农民，完全依靠联邦政府的救济度日。波苏洛指出：“与外界接触摧毁了他们的健康、摧毁了他们的信仰、摧毁了他们的生活和教育体系。他们变成了社会的弃儿。”

从1959年起，这位塞坦尼斯塔斗士便追随奥兰多（Orlando）和克劳迪奥（Cláudio）兄弟，投身于此项事业。[维拉斯·博阿斯（Villas Boas）三兄弟创建了巴西第一个特大大印第安人保留区——兴古土著人园区，拯救了15个印第安部落，因而名噪一时。奥兰多与克劳迪奥便是三兄弟中的两位。]20世纪60年代初，波苏洛跟着他们首次进入亚马孙。70年代，波苏洛加盟FUNAI，独闯密林，同一个与世隔绝的部落——居住在巴西东北部马拉尼昂州的阿瓦瓜贾人（Awá-Guajá）进行了首次接触。

1987年，波苏洛决定将博阿斯兄弟的保护策略向前推进一步。对土著部落来说，友好的接触常常也会破坏他们的传统和自给自足的生活。他的新主张是彻底避免接触，并向政府提议：与其像现在这样把土著部落无限供养下去，不如给他们划定地盘并派武装人员守护边界来得更实在。他反问道：“既然我们能为濒危动物划出保护地，为何不能为一个已在当地生活数千年的独特族群采取这种保护措施呢？”“这对土著人来说是件好事，他们会觉得土地及传统受到了尊重。对政府来说也是好事，可以从此摆脱种族灭绝的恶名。”好处还不止这些：一项调查发现，在亚马孙地区获法律认可的土著人居住地内，森林采伐率（1.14%）低于巴西全国各保留区的平均采伐率（1.47%）。

然而，要实现波苏洛的计划，就必须抢在开矿者、伐木商等人遇到土著部落之前找到他们。开发商与土著人相遇，常会酿成持久的致命冲突。科鲁波族（Korubo）就是一个典型的例子。这个部落居住在靠近巴西与秘鲁边界的贾瓦里山谷一带，1972年才首次接触外人。他们毫不客气地痛击入侵者，在数十年中，将许多冒险闯进领地的不速之客痛殴致死。1996年，波苏洛终于设法同一个科鲁波族实现了友好接触。他使用的招数之一是高声唱歌（敌人总是会偷偷摸



■同病相怜：后继无人的波苏洛与前途堪虞的科鲁波人在一起。虽然科鲁波人以杀戮入侵者闻名，但这次会面却充满了友好和平的气氛。

摸地靠近），并向土著人分发礼物。尽管波苏洛与该部落结识多年，他仍觉得这些人难以捉摸。为保险起见，他曾经阻止人类学家与这些土著人接触。而他自己也不打算再费心去同密林深处一个更大的科鲁波族群接触了。他觉得，这些人的栖身之处如此偏远，几乎不会有机会遇到外人。

互不干扰策略已赢得了全世界的认同。2006年通过的《联合国土著民族权利宣言》就承认，

土著民族拥有不被同化的权利。不过，这一策略在巴西仍受到抨击，巴西政府声称，融合是大势所趋，不可避免，保护政策只能推迟融合的到来，并给纳税人平添额外的负担。巴西利亚社会环境研究所负责人、FUNAI前总裁马尔西奥·圣蒂利（Márcio Santilli）指出：“诚然，这是花钱买时间，但对于缓和与土著民族接触所带来的冲击至关重要。”

对于土著人来说，时间不多了。巴西现在划出的居住地仅有10块左右。波苏洛和他的同事已确认了亚马孙地区的22个孤立部落，FUNAI则认为，根据航空调查资料以及目击者的叙述，确切的数字应接近68个。有些部落居住在以前受保护的保留地内，有些部落却栖身于农业开发区中。

在厄瓜多尔、秘鲁、玻利维亚、巴拉圭、哥伦比亚和委内瑞拉等六个南美国家，土著人的前景更加不妙。波苏洛声称：“这些国家几乎没有意识到这个问题。如果土著人在边界那侧没有受到保护，只在巴西这边采取保护政策也没什么用。”

2005年，波苏洛离开FUNAI之前，曾在亚马孙地区的伯勒姆城组织了一次会议，宣布成立一个保护南美七国孤立土著民族的联盟。该联盟的成员包括政府法律顾问、环保团体、人类学家以及土著组织等，呼吁各国政府尽快确认并保护他们有责任照顾的土著民族。他说：“首先要提高公众的意识，然后才谈得上公共政策的问题。”不过该联盟却面临着一个由土著人自己造成的、令人始料未及的挑战。据马塞洛·多斯桑托斯（Marcelo dos Santos，波苏洛在FUNAI的继任者）透露：“去年厄瓜多尔发生了一场惨剧，接触过外界的土著人杀死了20多名仍与外界隔绝的土著人。”

波苏洛也承认土著部落可能时日无多。但他指着摆放在客厅里的几尊堂吉珂德（Don Quixote）塑像表示，他从来没有放弃过努力。他指出：“土著人的命运最终取决于我们的选择。他们是最后的美洲人，而我们有欠于他们。”

即使遇上天大的喜事，人类的兴奋也倏忽短暂，持续不了多久。索尼娅·柳博米尔斯基通过实验发现，在感恩、行善与乐观这三方面进行训练，并持之以恒，会延续我们的幸福感。

延续幸福感的良药

撰文 玛丽娜·克拉科夫斯基 (Marina Krakovsky)

翻译 郭凯声

索尼娅·柳博米尔斯基 (Sonja Lyubomirsky) 打算买一辆新车。我见到她那天，她不断接到车商的来电。当我们回到正题，车商传给她的好消息让她兴奋不已：两天后她就能拿到自己心爱的汽车了。她怀疑自己如此开心是不是纯粹因为满足了物质愿望，但是我很明白，她付出一大笔钱不仅是为了车，也是为了获得一种体验——丰田普锐斯是一款环保型复合动力车，美国加利福尼亚州特许它们在合伙乘车专用车道（美国高速公路上设立的专用车道，在交通高峰期，公共汽车和载客两人以上的车辆可以使用这种专用车道）上行驶。她住在圣莫尼卡海滨，却要远远在 110 千米之外的加利福尼亚大学里弗赛德分校上

班，新型环保车大大缩短了她来回奔波的时间。

柳博米尔斯基今年 40 岁，常常一脸微笑，生活充满激情而又不失幽默。两周之后，她就宣称自己“完全爱上了普锐斯”。然而，这股激情究竟能持续多久呢？

作为实验心理学家，她致力于研究人们能否长期保持幸福感，因此她比我们更明白，把幸福感寄托在一辆新车上绝对是愚蠢的。我们具有适应性本能，通常很快便会从瞬间的万分激动恢复到正常的幸福感指数。20 世纪 70 年代对中奖彩民的调查，便是揭示这种所谓“享乐适应” (hedonic adaptation) 现象的经典范例。调查结果表明，那些幸运儿在发财一年后，幸福指数便与未中奖的彩民相差无几了。享乐适应是抑制我们过度狂喜的良药，由于它的作用，即使一些天大的喜事，也不会让我们总的幸福感增加多少。研究人员对孪生子和收养子女所作的调查揭示，每个人的幸福感约有 50% 是一生下来就决定了。无论幸福指数增加多少，最终都注定要落回起始点附近。

柳博米尔斯基的主要合作伙伴、美国密苏里大学哥伦比亚分校的心理学家肯农·M·谢尔登 (Kennon M. Sheldon) 说：“这一研究领域中始终存在争议。有人曾认为某些事情（比如说找到正确的目标）能影响幸福感，但文献表明那是不可能的，兴高采烈之后必然是情绪回落，你还是要回到原点。”

柳博米尔斯基、谢尔登和美国加利福尼亚大学圣迭戈分校的心理学家戴维·A·施凯德 (David A. Schkade)，把现有的研究成果综合起来绘成一张饼图，显示出哪些因素决定了人的幸福感。这块饼的一半是遗传因素的“默认设置”，即人一生下来就有幸福感。最小一块是环境因素：人们幸福指数的差异仅有 10% 可以用环境因素来解释。那么剩下的 40% 究竟包含了哪些因素呢？柳博米尔斯基指出：“这个问题现在还无法回答，因为以前没有人把这些资料综合起来。”不过她认为，去掉遗传和环境因素之后，剩下的除了



索尼娅·柳博米尔斯基 开心不容易

◎实验证明，在感恩、行善和乐观这三方面进行训练，有助于让人感到更快乐，但必须持之以恒才会有效。

◎柳博米尔斯基发现美国人对幸福感非常关心（她 9 岁时离开莫斯科）。

◎许多美国人认为幸福感应当唾手可得，柳博米尔斯基对此的评价是：“这是沉迷于美式速成文化中企图立竿见影的幻想。”

◎认为那些为读者开出种种未经验证的开心药方的自助书籍很不可靠，因此自己写了一本名为《幸福奥秘》的书，定于 2008 年出版。

误差之外，必定就是“有意的活动”了——人们为了抗衡遗传因素“不让你开心”的作用而使出的种种招数。

柳博米爾斯基一直在研究这类活动，希望借此确定人们是否能够克服以及应该如何克服这种“默认设置”。理论上有可能：我们可不可以通过某种方法，推翻妨碍我们更快活的遗传设置呢？但是她指出，在她开始探索之前，“有关如何增加幸福感的研究领域，还存在着很大的空白”。积极心理学之父、美国宾夕法尼亚大学的杰出心理学家马丁·E·P·塞利格曼（Martin E. P. Seligman，柳博米爾斯基的导师）对此这样解释：在以前的一些研究中，“研究人员刻意回避对受访者的直接影响”。而当科学界后来仔细探索幸福感时，所采取的手段主要是相关性研究，而这类研究并不能确定人们的幸福感及与之相关的其他因素究竟孰先孰后，更不用说确定

它们的因果关系了。举个例子来说，如果我们发现交际广、朋友多的人比生性孤僻的人感到更快活，那么就要弄清楚，究竟是因为朋友多了让我们感到快乐，还是因为乐天派本身就更容易交到更多朋友。

1989年，当时还在读研究生的柳博米爾斯基在同她的指导老师、美国斯坦福大学的心理学家李·D·罗斯（Lee D. Ross）进行了一次有趣的交谈后，就开始探索幸福感。罗斯给她讲述了自己的一位朋友的故事。这位朋友在纳粹大屠杀中失去了双亲，但他始终保持异乎寻常的快乐心情。罗斯这样解读：“对于他来说，大屠杀的意义就在于，既然你已经有了这样的经历，那么还为一些鸡毛蒜皮的小事而烦心就不值了——你应该努力去发现让你感到欢乐的事情。”心理学家早就知道，对于同样的事情，不同的人会从不同的角度去观察与思考。但是，对事情的不同解读方式会怎样影响人们的幸福感呢？心理学家对这一问题研究甚少。

因此柳博米爾斯基还得先进行一些基础工作才能开始实验研究。她说，那个时候幸福感是一个“模糊不清、不具有多少科学性的话题”。但她已经通过努力，把这一新兴的领域带进了严肃的科学殿堂。她坚信，每个人自报的幸福感才是至关重要的依据；正是从这一信念出发，她设计了一套包括4个问题的主观幸福指数评估系统。她给幸福感下了一个实用的定义：“幸福就是快乐而满足的生活。”这个定义既照顾到了获得全面幸福感所必需的感觉因素，又包括了价值判断的理性因素。（比如说，一位新当了妈妈的女人虽然充实而喜悦，但可能因照顾宝宝而劳累不堪；反观一位频频出入社交场所的少女可能玩得十分开心，但精神空虚；这两类人都会认为自己真正幸福）。直到现在，她都很少见到她的

那些调查对象，对于调查中布置的任务，他们基本上都是在实验室外的实际工作和生活中完成的，而调查表则是在电脑上回答的。为了了解参加调查的人是否投入、是否认真诚实做到心中有数，她通过另外一些方法来核实情况，比如查看他们填写调查表的进度等。

进行这项调查研究，必须长期跟踪众多参与调查的人，花费不菲。为此，在两年半以前，柳博米爾斯基和谢尔登从美国国立心理健康研究所（National Institute of Mental Health）获得了一笔为期5年、数额为100万美元的课题费。如何保持长久开心的理论可谓五花八门，用塞利格曼的话来说，“从信仰佛陀到信仰托尼·罗宾斯”（即安东尼·罗宾斯，

美国著名心理学家），应有尽有。而柳博米爾斯基则从中挑选出她认为可能管用的3招：对人友善、心存报恩和保持乐观，以进行考察。以

往的研究表明，人们的这3种情绪与幸福感有关。

柳博米爾斯基的目标，就是要验证这类策略是否有效，并深入解读幸福感是如何运作的。例如，一项调查显示，每天写一篇感恩日记的人，并不比一周才记下自己感恩经历的人开心。柳博米爾斯基因此证实了自己的一项猜想——时机的安排非常重要。调查研究也表明，多元化行为而不是单一的行为也是快乐生活不可缺少的。一项有关行善的研究发现，以多种方式做好事的受试者，幸福感要高于那些千篇一律地做同一件好事的受试者。她也在考察机制问题，比如说，为什么行善会让人感觉快乐？她说：“我是搞基础研究的，不是搞应用研究的，所以我更感兴趣的不是这些方法本身，而是它们究竟如何起作用，是什么机制在幕后运行。”

这些方法的初步结果鼓舞人心，但要维持则相当困难。一项研究结束后才几个月，那些半途而废的人的幸福感便有所下降。只有持之以恒，这些方法才会有效。养成习惯是开心生活最重要的前提之一。另外一个关键问题是要“对症下药”，也就是说，所用方法应该适应自己的实际情况。有一种培养乐观情绪的方法，就是让人坐下来，好好想象一下自己能够达到何种最佳状况，但如果你觉得这种方法太不自然的话，你多半就不会去用它。

最大的问题或许是，我们必须明白，通过不懈的努力，我们可以让自己感到更开心。柳博米爾斯基称：“许多人觉得精神上的事不必花这么大的心思，但实际上，我们花在这上面的功夫却非常大。”

每天都记下感恩的心情？
想要真正快乐，就别这样做。

本文作者

玛丽娜·克拉科夫斯基（marinakrakovsky.com）的文章经常涉及实验心理学领域。

让声音定向传送

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)
翻译 詹浩

当你在一家安静的食品店内转悠，经过一条过道时，一个声音突然在耳边响起：“口渴吗？买瓶饮料吧。”于是，你在饮料架前停了下来，但你身旁却别无他人，一两米之外的售货员似乎没有听到任何声音。这是怎么回事？

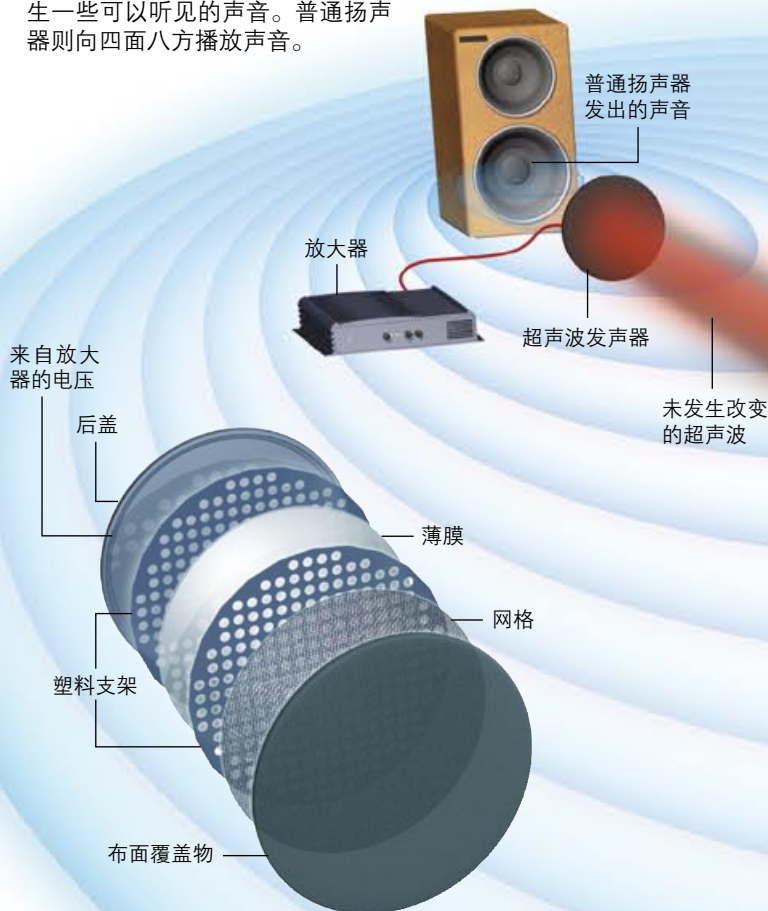
说起来似乎很简单：当时你刚好站在一个声波圆柱体内。如果说扬声器发声的方式，就像电灯泡发射光线一样，向四面八方传送，那么定向发生器就类似于聚光灯，发射出的是一束声波。这束声波由超声波构成，在通常情况下，人类无法听到超声波，但当超声波与空气相互作用时，就能发出人耳听得到的声音。用数学方式描述这些相互作用，工程师们就能让一束超声波发送人声、音乐甚至任何一种声音。

早在20世纪60年代，军事和声纳研究人员就想利用这一现象的原理，但只能产生高度失真的声音信号。1998年，约瑟夫·庞佩 (Joseph Pompei, 当时还在麻省理工学院工作) 提出一种方法，能大大降低失真度。后来，他设计了一个放大器、一些电子装置和扬声器来产生超声波，据庞佩介绍，这种超声波非常“纯净”，可以产生清晰的声音。他给这一技术注册了音频聚光灯 (AudioSpotlight) 的商标名，并于1999年在美国马萨诸塞州沃特敦创办了全方位应用声学公司 (Holosonics, Inc.)。庞佩的竞争对手、发明家伍迪·诺里斯 (Woody Norris) 的美国技术公司也推出了一种相应的产品——高超音速声波 (HyperSonic Sound)。

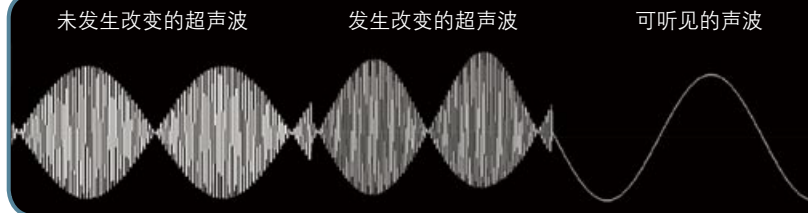
庞佩的扬声器安装在全方位应用声学公司的大厅内，而且还在很多地方巡回展出，如美国波士顿美术博物馆和沃尔特·迪斯尼世界 Epcot 中心等。当参观者站在展品或电视屏幕前面，讲解员进行解说时，不会给这些房间添加任何噪声。一些百货公司已准备安排一些零售展销活动，汽车制造商也摩拳擦掌，准备利用这些产品，让乘客只会听到自己喜欢的音乐。在客厅中，倾斜支架上的扬声器能让老爸一个人听到电视发出的声音，而其他家庭成员坐在沙发上安静地读书，丝毫不受影响。

也有人持反对意见，他们认为在某些情况下，耳机也有类似的功能，而且这种装置还存在的一些缺点，例如汽车座椅对声波会有反射作用，时常产生回声。不过，定向发声器走向大众的主要障碍是成本过高：一些产品的成本在600美元~1,000美元之间，甚至更高。如果价格能够降下来，用户就有可能考虑购买定向发声器……或者在购物时也会遇到它。

定向发声器发射一种自然聚焦的超声波束，在波束内的空气中，会产生一些可以听见的声音。普通扬声器则向四面八方播放声音。



■发声器仅半英寸厚，由一个放大器驱动，放大器将电压发送到一种金属-聚合物薄膜上。该薄膜以60,000Hz或更高的频率振动，生成超声波。



■在空气中，均匀的超声波（左）的密度产生波动，超声波随即发生改变（中），转变成可以听见的声波（右）。

你知道吗？

◆**反射**：当超声波从坚硬光滑的表面上反射回来时，仍会保持一种集束状态。警察可以向一条小巷末端的一栋建筑物，或某一仓库内远端的一扇窗户发射一束超声波，反射回来的声波就会击中罪犯，当他企图摆脱耳边的声音时，也许恰好自投罗网，进入警察的射击范围。

◆**动物和人类所能听见的声音频率**：有些动物能够听到定向声波中的超声波噪音。这些超声波发声器的发射频率为 40,000 到 80,000 赫兹（Hz）。人类能听到的声波频率在 20 ~ 20,000Hz 之间。狗能听到 40,000Hz 左右的声音，老鼠则可听到高达 90,000Hz 的声音，而蝙蝠、海豚和大白鲸能听见 100,000Hz 和更高频率的声波。

◆**意外**：因为中耳骨的存在，人类只能听到 20,000Hz 以下频率的声波。但在试验中，科研人员将频率高达 200,000Hz 的超声波施加于一些受试者的颅骨上，一些人在报告中说“听到了”声音；颅骨可能会使到达耳蜗的振动发生改变。

◆**凶手**：2006 年 11 月，美国电视法庭将音频聚光灯用于一些大型书店，促销新推出的电视连续剧《凶手》的图书版。当一位闲逛的顾客无意间走到该展品的海报附近时，一个神秘的声音在他的耳边响起：“嘿，你在这儿来。别将脸转过来。你听见我的声音了吗？你想过当凶手吗？想过犯下弥天大罪吗？我就想过。一直都是这样。我在这方面的思考已得到回报。我是一位专写畅销犯罪小说的作家……”

发生改变
的超声波

可听见的声波



■在美国纽约的公共图书馆，当人们处于这种“聚光灯”下时，就能听到头顶的发声器发出的声音。而其余空间仍然寂静无声。



布什的错误和肯尼迪的失误

撰文 迈克尔·舍默 (Michael Shermer)

翻译 徐蔚

有人说“我错了”，然后呢？

伊拉克战争已经过去4年了。在那场战争里，3,000多名美国人失去了生命，每天的战争经费的消耗更是高达两亿美元，也就是说，一年花掉了730亿美元！难怪美国大部分议员都与美国总统乔治·布什站在同一条战线，确信要“坚持到底”，绝不能“落荒而逃”。正如2006年7月4日布什在美国北卡罗莱纳州布拉格堡 (Ft. Bragg, N.C.) 发表的讲话中所重申的那样：“在任务完成之前决不撤军，我不能让2,527位牺牲在伊拉克的士兵白死。”

在生活中，我们作出过很多类似的不理智决定，结果导致股份丧失、投资不利、生意亏本或者关系破裂。其实如果当时能够理智一些，就可以推断出下一步将要发生的事情，然后决定是否投资。但是，“如果”永远只是“如果”——无论是在爱情、战争还是商业投资方面，我们都丧失过理智。这些在不理智状态下作出的决定就是经济学家所谓的“沉没成本谬误” (sunk-cost fallacy)。

心理学家卡萝尔·塔佛瑞斯 (Carol Tavis) 和美国加利福尼亚大学圣克鲁斯分校 (University of California at Santa Cruz) 的心理学教授埃利奥特·阿伦森 (Elliot Aronson) 在二人合著的《不是我的错》[*Mistakes Were Made*

(*But Not by Me*)] 一书中，对造成“沉没成本谬误”和其他认识谬误的心理状态作了分析。“自辩”机制 (self-justification)，即“允许人们说服自己已经尽力做到最好”是他们探讨的焦点。当人们使用被动语态宣布“错误产生”的时候，就说明理智已经回归。就像亨利·基辛格 (Henry Kissinger) 在谈到越南、柬埔寨和南美问题时坦承的那样，“错误很可能是由我所供职的部门犯下的”。

认知矛盾是导致自辩的根源：“任何人在面对心理上彼此矛盾的两种认知（想法、态度、信仰和意见）时，都会觉得紧张，”塔佛瑞斯和阿伦森解释说：“这种矛盾会造成自责、懊悔、痛苦等不同程度的精神不适。在找到适宜的缓解方式之前，人们很难摆脱这种不适的精神状态。”而正是在缓解矛盾心理的过程中，自辩机制才开始加速运转。

误判死刑可以说是认知不准确的极端体现。从1992年美国实施“昭雪计划” (the Innocence Project) 以来，有192人被免除了死刑。但是，美国密歇根大学法学教授塞缪尔·R·格罗斯 (Samuel R. Gross) 对此并不满意，“如果我们能够像复审死刑判决那样认真审阅每份判决书”，“在过去的15年

里，能够被免除牢狱之苦的人就会超过28,500个，而不是区区255个”。根据美国西北大学的法制记者罗布·瓦尔登 (Rob Warden) 的解释，通过自辩机制缓解心理矛盾是一种屡见不鲜的心理现象，“人们一旦陷入这一机制，就会变得非常愤世嫉俗”，“你会认为人们都在对你撒谎，在此基础上你会衍生出一套‘隘见’ (tunnel vision) 性的犯罪理论。多年以后，当有确凿证据显示某个罪犯无辜的时候，你就会告诉自己，‘等一下，若不是这个证据是错误的，就是我自己搞错了——但我是个好人，不可能犯这样的错误’”。

在少数情况下，的确有人曾公开承认“自己犯了错”，他们大多得到了人们的宽恕，受尊敬程度甚至还因此得到提升。在猪湾 (Bay of Pigs) 事件后，约翰·肯尼迪总统 (President John F. Kennedy) 发表了如下讲话：

“该部门会坦承他们的错误，就像某位智者曾经说的，‘除非你拒绝改正，否则失误将不会成为错误’。我们需要为自己犯下的错误承担责任……我们不需要寻找替罪羊……我必须为失败担负最终责任，没有别人，就我自己。”

这段讲话让肯尼迪的声望飙升，一跃成为一个善于审时度势的政治领袖。假设如果布什说出这样一席话，情况会怎样呢？

SA



有啤酒的美好世界

——关于麦芽和啤酒花科学的讨论

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)

翻译 姬十三

为了能喝到免费的啤酒，二月下旬，我参加了一场纽约科学协会举办的讲座，讲演者为著名的啤酒行家查利·班福斯 (Charlie Bamforth)。Avuncular (意为伯父，用来指代上了年纪、举止成熟的男人) 一词就是为这个英国男人量身打造的。在他的腰带之下 (under one's belt, 英文惯用语，有“掌握”之意)，是30年的酿酒技术；而腰带之上的，则是他所坚称的“香肠肚，而非啤酒肚”。

“啤酒是现代定居文明的基础，”班福斯，这位由“安海斯-布希公司 (Anheuser-Busch)^①”资助的美国加利福尼亚大学戴维斯分校酿造学教授开始了演讲。“在啤酒发明之前，人们总赶着羊群，从一处迁移到另一处。后来他们意识到这些谷物 (大麦) 可以播种、发芽、做成面包，也可以酿造口感甚佳并让身体感觉温暖舒适的液体。于是赶着羊群四处迁移的日子一去不返了。人们安定下来，播种谷物，酿造美酒，并将一顶顶帐篷变成了村庄，村庄变成了城镇，城镇又变成了城市。于是现在我们有了纽约，这都得感谢啤酒。”班福斯用三段论法结束了自己的讲演：“喝酒的人睡得香。睡得香的人不会犯罪。不犯罪的人就可以去天堂。这个逻辑无懈可击。”

在演讲中，班福斯不断地赞誉这种他称为“世界上最美味的饮料”的金牌品质，顺便还贬低了另一种广受欢迎成人欢迎的饮料。在解释简单的发酵化学方程式，即一个糖分子转变为两分子的乙醇和两分子的二氧化碳 (还有一部分能量) 时，班福斯解释说：“如果糖来源于葡萄，你就可以酿造一种叫做酒的美味饮料。如果糖来自谷物，酿造出的就是更美味的饮料——啤酒。”



班福斯谴责了啤酒有时所扮演的冒险形象：“啤酒被认为是坏男孩的饮料，它的行销方式也过于稀奇古怪，比如‘喝醉的马’^② (2005年超级碗^③的一则声名狼藉的广告，却被另一则更臭名昭著的“衣橱事故”广告^④抢去了风头) 和行为恶劣的男人等。同时酒却被视为是有档次的标志，象征着高质量的生活。事实并非如此。啤酒的品性更好，在酿造时被倾注了更多的热情与细心，至少是健康的。”

但是，麦酒^⑤如果变质，就会发出比臭脚更加难闻的异味：只有用彩色瓶装盛，或聘用有才能的化学家，才能使啤酒远离“中暑”。光线可以使啤酒中的某些苦酸 (bitter acid) 转变成可怕的二硫氨基甲烷 (MBT)，它与加拿大臭鼬 (斑纹臭鼬) 释放的恶臭无比的硫醇是近亲。班福斯在他的《啤酒：融入艺术与科学的酿造》一书中写道，甚至在 MBT 的浓度低达万亿分之 0.4 时，有人就可以闻到异味。“这些可怜的家伙，”他写道，“不知能否闻出散布在齐柏林 II 型飞艇气囊中最多 0.1 克的 MBT。”这就是人类！

酿酒专家有最钟意的啤酒吗？“这取决于我在哪里。”班福斯解释道，“如果我在一个破旧的酒馆，站起来可以碰得到天花板，一旁还有熊熊燃烧的柴火，那么来自英格兰的桶装麦酒是首选，而不是美式的淡啤酒^⑥。如果我在沙加缅度河猫队^⑦棒球比赛现场，室外有 100 华摄氏度 (38 摄氏度)，我会为一杯百威而疯狂，而不会去喝健力士^⑧。什么样的跑道要押什么样的马。”——只要这些马没有喝醉就行。

在回应啤酒里只有卡路里，会导致啤酒肚的说法时，班福斯指出，实际上啤酒富含 B 族维生素，不过不含维生素 B1。他回忆说：“一位名医问我，‘如果提高啤酒中 B1 的含量，啤酒会否彻底成为一种膳食？’我回答道，‘连我都不会同意这种观点，你还需要吃一些脆饼干。’” 

译注：

① 安海斯-布希公司 (Anheuser-Busch) 于 1852 年创立，总部位于美国密苏里州圣路易斯市，旗下有世界最大的啤酒酿造公司，美国第二大铝制啤酒罐制造厂等。安海斯-布希公司出产的百威啤酒 (Budweiser) 名扬世界，深受各国消费者喜爱。

② 广告视频请见环球科学网站：<http://www.sciam.cn>

③ 超级碗 (Super Bowl)：美国国家橄榄球联盟 NFL (National Football league) 一年一度的总决赛，是美国最有影响力的体育赛事，“超级碗”冠军是美式职业橄榄球的最高荣誉。

④ 百威啤酒的一则恶搞 2004 超级碗大赛珍妮·杰克逊走光事件的广告，视频请见环球科学网站。

⑤ 麦酒：Ale 啤酒，指没有加入酒花的啤酒，酒精度比淡啤酒高，味道比较浓。

⑥ 淡啤酒：Lager 啤酒，酒精度比麦酒低。两者间的区别一是所用酵母不同，二是发酵温度不同。

⑦ 沙加缅度河猫队 (Sacramento River Cats)：美国加利福尼亚州著名棒球队，3A 级太平洋岸联盟成员。

⑧ 健力士 (guinness)：一种用麦芽及蛇麻子酿制的爱尔兰黑啤酒，泡沫持久，口感油滑，微苦带甘，余味较长。



20 世纪初,爱因斯坦创立了广义相对论,描述了宇宙发展演变的历史。在这一理论体系中,空间与时间融合成连续的统一体,而宇宙则可被描述

宇宙在往哪里膨胀

解答专家:亚历山大·卡什林斯基 (Alexander Kashlinsky),
美国国家航天航空局戈达德空间飞行中心天体物理学家

为一个四维时空网格。从这一观点出发,宇宙膨胀并非是说宇宙在扩展自己的版图,而是指时空网格本身在膨胀。

在相对论问世之前,牛顿物理学(认为天体遵循着牛顿定律运行的物理观点)、空间和时间都是绝对的,在牛顿运动方程里,时间仅仅是一个参数而已。同时,引力被看成为巨大天体之间的吸引力,而为什么会产生

引力却是一个谜。

即使在许多实际情况中,广义相对论的运动方程都能被简化为牛顿运动方程,但两者的物理概念却是截然不同的。在广义相对论中,天体借助于引力赋予了时空网格一些独特的性质。引力使时空连续统一体弯曲,广义相对论则将引力作用视为时空弯曲的表现形式。在引力的作用下,一些天体会从不太弯曲的时空“掉进”更为弯曲的时空。

根据爱因斯坦的广义相对论方程,包含有物质的时空无法保持静止状态,必须不断膨胀或收缩;星系并非在真正意义上相互远离,而是因为它们身处某一固定的、不断膨胀的时空网格中,才给人相互远离的假象。打个比方,在一个气球表面画上一些小黑点,然后将气球吹胀。小黑点(代表星系)之间的距离将会变大,如果你居住在其中一个小黑点上,你就会认为其他的小黑点正在离你远去。实际上,相对于气球表面上的两个坐标(纬度和经度)而言,小黑点仍处在原来的位置上,并未移动,是气球的不断膨胀造成了这种错觉。

这里所提出的问题,仅仅考虑四维空间的广义相对论理论体系无法给出答案,因为这意味着时空之外还另有一个坐标。由于时空与物质紧密相连,因此“气球”表面之外是不存在的——时空本身就包含了一切。

(翻译/詹浩)

什么是“垃圾”DNA,它有什么作用

解答专家:沃依切赫·马卡洛斯基 (Wojciech Makalowski)
美国宾夕法尼亚州立大学生物学教授、基因组专家

所有动物都有大量冗余的垃圾DNA,它们和其他DNA一样,都是遗传材料,但不能编码用于建造动物身体、加速细胞内化学反应的蛋白质。在我们的基因图谱中,实际上只有2%的DNA能够编码蛋白质。

1972年,已故遗传学家大野乾(Susumu Ohno)发明了“垃圾DNA”这个术语,用以表述所有不能编码蛋白质的DNA片段,其中大多数片段都是一些重复序列,随机散布在整个基因组上。一般而言,垃圾DNA片段是通过转座产生的,也就是说,一个DNA片段转移到了基因组的其

他区域。因此,在这些区域,一般都有多个转座子(其实就是一些基因序列,它们从基因组上自我复制或剪切下来,然后重新插入基因组的其他地方)。

20世纪90年代初,人们对垃圾DNA,特别是重复序列的兴趣日益浓厚。目前,许多生物学家都认为,重复序列是基因组中的宝藏。在基因组中,转座子无疑是基因重组的焦点,它不仅能发出调控基因表达的重要信号,还能促进物种进化。就此而言,重复序列并非“垃圾”,而是基因组中的必要组成部分。

月亮新招·牛奶计划·气球问题

1957 年 6 月

月光之尘——“如果能将月球上的物质带回地球，将在科学史上写下最为重要的一笔。这个课题是如此诱人，以至于人类还未能登陆月球，多种提取月球物质的创造性方案便已出台。例如，我们可以同时向月球发送两枚火箭，其中一枚通过自导装置紧随另一枚。前面的火箭先向月球发射一颗小型原子弹，由于月球上没有大气层，地心引力相对较小，蘑菇云能够升腾很高；第二枚火箭就可以潜入蘑菇云，搜集一些尘埃，然后利用辅助喷管脱离云层。当然，这一计划要想成功，还需要电子制导（electronic guidance）领域出现重大突破。”

——克拉夫特·A·埃里克（Kraft A. Ehrick），乔治·伽莫夫（George Gamow）

人鲨大战——“现在，鲨鱼的凶残不再是缥缈的传说，而是确凿无疑的事实。当代最伟大的深海生存专家雅克·伊夫·库斯托（Jacques-Yves Cousteau），就与鲨鱼有过一场惨烈的邂逅。在葡萄牙的佛得角群岛（the Cape Verde Islands）附近，先是一条

▶ 环球科学小词典

埃里克（1917—1984）出生于德国，他是一位火箭推进专家、半人马火箭的首席设计师，在宇宙飞船的发展过程中也起过重要的作用。另外，伊里克还曾提出了移民月球的构想。

伽莫夫是20世纪最有影响的科学家之一，他在众多的科学领域做出了开拓性的贡献。在核物理学领域，他提出了著名的“核势垒隧道效应”和 β 衰变的伽莫夫-泰勒选择定则；在宇宙学领域，由于他竭力倡导“大爆炸”学说而使这一概念广为人知。同时，他凭着自己非凡的直觉在分子生物学领域提出了生命密码是如何工作的看法，这一看法后来被沃森、克拉克和尼伦伯格等人所证实。

SCIENTIFIC AMERICAN



聋童识数（1907年）

8英尺（约2.4米）的灰色鲨鱼紧跟着库斯托和他的潜水助理弗雷德里克·迪马（Frédéric Dumas），然后又有两条5英尺的家伙以及若干条蓝鲨加入围攻。库斯托和迪马使出了潜水指南中的所有绝招，但无论是绑在腿上的‘驱鲨剂’（醋酸铜，copper acetate），还是库斯托用海底相机在鲨鱼鼻子上的重击，都不能把它们驱赶开，这些鲨鱼根本就不害怕，而且在闪避袭击后马上就会返回原位。还好，库斯托和助手及时脱身了。”

1907 年 6 月

袋装牛奶——“牛奶是最容易被污染的食物，将它们装在反复使用的瓶子中供应给顾客是极端错误的做法。解决的方法就是彻底放弃瓶装，改用一次性纸质包装。这种包装现已开始应用。最早出现在货架上的是一种造

型简单的圆纸桶，这种纸桶是在干净整洁的加工环境中，由新型云杉木纸制成的。装好瓶底以后，瓶子会被放到热石蜡中浸泡。这种石蜡并不罕见，普通家庭通常把它当作凝胶剂使用，以隔绝空气、湿气和灰尘。”

聋人学话——“近年来，人们已经开始认识到，丧失听觉并不一定会丧失说话能力。随着教育体制的更新，旧式手指字母表已经无人问津。为期4~5年的初级课程几乎全部用于教授语言和数字，每个孩子都得学会通过发声器官自然发音。”

1857 年 6 月

电动机——“我们承认，韦尔涅（Vergnes）教授的电磁发动机搭配了蒸汽锅炉后，的确杜绝了电机电池爆炸的危险，但这款电动机不够简单也不够紧凑，比蒸汽机加上所有附件还要复杂。与许多功率超过20马力（约14.7千瓦）的蒸汽机相比，韦尔涅在水晶宫（the Crystal Palace）展示的大型电磁发动机携带了128节电池，占据了很大的空间以容纳机身和电池，而它所产生的功率据说还不到10马力（我们相信，从操作观测的角度来看，功率甚至不到5马力）。”

气球漏气——“我们认为，继去年寒假成功打入巴黎市场之后，玩具气球（由牛肠薄膜制成）也会成为美国孩子的娱乐新宠。最近，气球已在城市中流行开来，摆上了各种商店的橱窗。很多购买了气球的孩子非常惊讶地发现，气球每天都在缩小，终有一天会变成皱皱巴巴的皮囊，与球再无半点相似之处。因为气球的填充气体（氢气）一直在通过气孔缓慢漏气。”

（译 / 徐蔚）



■ 首读《环球科学》，给我的感触很大！这是一本涵盖很多领域的杂志。上面的文章既很前沿，也很有实用价值，能在了解世界科技动态的同时，学到很多与日常生活、工作密切相关的知识。我是一名小学教师，教的是科学课。在教学中我的学生偶尔会问我一些有关前沿科学的问题，我有时就会不知道该怎么来回答他们。自从订阅了《环球科学》以后，我就不会再“害怕”我的学生们了！真的很喜欢这本杂志！

——刚谭

回复：小编们最高兴的，就是大家认为《环球科学》“有用”，何况还是对祖国的花朵进行科普教育。《环球科学》杂志的创立，就是为了成为中外科学沟通的桥梁，将最前沿、最及时的科学知识带给广大的读者。为了让读者能够更好地理解比较艰深的内容，我们一直坚持深入浅出的原则，用贴近生活的语言和相关图片制作本刊，力求做到前沿性、可读性和实用性相结合。我们相信，通过我们和像你一样的科学传播者的共同努力，中国一定会出现更多的科学爱好者、科学研究者，让科学真正成为普通人生活中必不可少的一部分。

■ 我在克拉玛依工作，购买杂志非常不方便。订阅吧，收到杂志往往已经是月底，每次论坛里都有人对新的一期发表意见了，我还在翘首等待杂志，这种滋味实在不好受。所以我想，如果《环球科学》能够推出电子版，到时我从网上下载，就非常方便了。

——张昊

4月底，《环球科学》参加了2007年全国书市。在展会期间，《环球科学》的展台常常被热心读者所包围。而令小编最高兴的，不仅仅是书市期间杂志的销量喜人，还在于借这个机会，和来自全国各地的热心读者当面交流，了解大家对杂志的需求，倾听大家的建议，小编从中收获非常大。在这里，小编要跟全国的读者说一声谢谢！你们的帮助，是《环球科学》不断进步的动力源泉。

读者热线：023-63658888-16048

E-mail: advice@sciam.cn

cncsciam@gmail.com

读者论坛：http://www.sciam.cn/bbs

来信请寄：重庆市渝中区双钢路3号

科协大厦1204 环球科学杂志社

邮编：400013



回复：告诉你一个好消息，《环球科学》的电子杂志已经通过前期测试，正式推出了。登录环球科学的网站(www.sciam.cn)，进入“电子杂志”频道，按照提示下载阅读就可以了。

■ 我是《环球科学》的忠实读者，自从贵刊创刊以来就一直坚持购买杂志。

看了《环球科学》2007年第5期杂志的文章《网络交友——真实的谎言》以后，我所受到的启发颇多。如今，在网上交友的人越来越多，网恋甚至成为了一种潮流，但最后真正成功的却没有几对。贵刊的这篇文章无疑打破了人们沉醉于网络虚幻世界的迷梦，同时对网恋的人们提出了善意的警告，是很具有现实意义的，希望贵刊在今后能够继续关注社会热点问题，我也将一如既往地

支持《环球科学》！

——王晴

回复：首先非常感谢您对本刊的支持，关注社会热点现象是每一个杂志人的责任，科学并不能够脱离人们的实际，它的目的是通过科学研究更好地改善人们的生活。《环球科学》作为一本科普杂志，它不仅仅从社会学的角度来关注社会热点现象，更从科学的角度对社会热点进行分析，由于它的结论是建立在大量数据研究之上的，因此更具有科学性和可信度。我们希望本刊对社会热点的追踪和研究，能够体现出更多的社会现实意义，同时我们也希望通过自身的努力，使《环球科学》在今后的日子里，能够带给读者更多的启发和收获。

感谢三位读者热情的来信，杂志社将特别赠送他们最新出版的杂志一本。

请继续订阅2007年《环球科学》

2007年下半年的杂志征订正在进行，小编提醒大家，《环球科学》可以破季订阅，你随时可以到当地邮局订阅。需要订阅过刊和购买《环球科学2006年合订本》的读者，可以直接向杂志社邮购。

1.到各地邮局订阅：

邮局订阅代号：80-498，全年订阅价144元，半年订阅价72元，季度订阅价36元。

友情提示：《环球科学》可以破季订阅。

2.向《环球科学》杂志社订阅：

邮局汇款（汇款时请注明您的姓名、通信地址、邮编、电话和订阅起止时间）

汇款地址：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204

收款单位：环球科学杂志社

邮编：400013

友情提示：请妥善保存订阅收据，以便日后查询。

3.网上订阅：www.itbook.com.cn

友情提示：网上订阅均采用在线支付方式，支持多种银行卡网上支付。

对直接从杂志社和itbook网站上订购一年以上(含一年)杂志的订户，我们推出如下优惠：

选用挂号方式(推荐)：全年优惠价150元(原价180元)

选用平邮方式：全年优惠价120元(原价144元)

《环球科学2006年合订本》：135元/套(原价150元)，单册购买：68元(原价75元)



生命新起源

最新的进化观点与传统理论发生了激烈碰撞：生命并非起源于RNA,而是比RNA更小的化学分子！谁将成为这场争论的胜利者？

重建1.3万年前的生态系统 挽救全球濒危动物

摒除副作用 高效安全的新型麻醉剂即将诞生

粒子宇宙学 揭示宇宙最初演化历程

新型网络编码 疏导通信大塞车

三维显示器 展现真实的立体影像

博弈论PK决策论 谁能获得最大收益



物理、天文、环境

active-matrix display 有源矩阵显示器
attosecond 阿秒
bus bar 汇流条
carbon plume 碳云
cellular system 无线蜂窝系统
chirality 手征性
computer-human interaction 人机交互
cryovolcanism 冰火山活动
delayed-choice experiment 延迟选择实验
dust devil 沙尘旋风
entanglement 量子纠缠
fringe 干涉条纹
geochemistry 地球化学
hairy ball theorem 毛球定理
Heisenberg's uncertainty principle
海森堡不确定性原理
hydrothermal vent 海底热液喷口
hypersonic sound 高超音速声波
ionization 电离
lab-on-a-chip 芯片实验室
lava 火山熔岩
look-ahead simulation 超前模拟
Mars Express 火星快车
methalogical cycle 甲烷循环
microfluidic device 微流体装置
micrometeoritic dust 微陨石尘
mid-oceanic ridge 洋中脊
nanonet 纳米网
percolation transition 渗流相变
polarizing film 偏光膜
power meter 电度表
power-electronic circuit 电力电子电路
programmable logic controller
可编程逻辑控制器
quantum erasure 量子擦除效应
quantum-mechanically tunnel 量子隧穿效应
quasicrystal 准晶
reactive power 无功功率
RFID 射频识别
saltation 沙尘跃移
sandstone 砂岩
self-modeling 自建模
shale 页岩
stratosphere 平流层
superposition 量子叠加
thin-film field-effect transistor
薄膜场效应晶体管
Tinguiririca River 廷格里里卡河
Titan 土卫六泰坦
Turbo Coding 增强编码
two-slit experiment 双缝实验
wheeling 接力送电
x-ray computed tomographic scanning
X 射线计算机断层扫描技术

化学、生物、医学、人类学

aneuploid 非整倍体
Andes 安第斯山脉
anteater 食蚁动物
anthraquinone 蒽醌
asbesto 石棉
Arara 阿拉拉人
arsenic 砷
argon gas 氩气
aromatic hydrocarbon 芳香烃
Awá-Guajá 阿瓦瓜贾人
Body Mass Index, BMI 人体脂肪健康指数
buckyball 巴基球
capybara 水豚
caviomorph rodent 豚鼠形啮齿类动物
cervix 子宫颈
chinchilla 南美栗鼠
chromosome complement 染色体组
chromosome-painting technologies
染色体涂染技术
clathrate hydrate 笼形水合物
colon cancer 结肠癌
comparative genomic hybridization
比较基因组杂交技术
diffusion tensor imaging 磁共振扩散张量成像
dioxin 地高辛
diploid 二倍体
Down syndrome 唐氏综合征
embryo 胚胎
enamel 珐琅质
fibronectin 纤连蛋白
fluorescent in situ hybridization 荧光原位杂交
functional neuroimaging 功能性神经影像技术
Glasgow Coma Scale 格拉斯哥昏迷量表
Gondwana 冈瓦纳古陆
ground sloth 地懒
hippocampus 海马区
indium tin oxide 氧化铟锡
jawbone 颞骨
koala 树袋熊
krypton 氪
lemur 狐猴
liver 肝脏
McGurk effect 麦格克效应
metacognition 元认知
metastasis 癌细胞转移
methane 甲烷
methanogen 产烷生物
multi-modal reinforcement 多模式强化
molar 臼齿
mosaic variegated aneuploidy
镶嵌斑非整倍性综合征
nickel 镍
P-glycoprotein P- 糖蛋白
Pangaea 泛大陆

phenotype 表型
platypus 鸭嘴兽
polymodal associative cortice 多觉联合皮层
prostate 前列腺
proto-oncogene 原癌基因
PSA 前列腺特异抗原
Rimonabant 拮抗剂
Rous sarcoma virus 劳氏肉瘤病毒
sea urchin 海胆
Sensory Integration 感觉统合
serpentinization 蛇纹石化
shrew 鼯鼠
silent mutation 沉默突变
Single Nucleotide Polymorphism
单核苷酸多态性
spindle apparatus 纺锤体
stomach 胃
synonymous mutation 同义突变
tectonic plate 板块
theropod 兽脚类恐龙
ultramafic silicate 超镁铁质硅酸盐
urethane 尿烷
xenon 氙

机构名

American Association for the Advancement of
Science 美国科学促进会
Brookhaven National Laboratory
美国布鲁克海文国家实验室
Catholic University of America 美国天主教大学
Centers for Disease Control and Prevention
美国疾病控制预防中心
EPRI 美国电力研究所
FERC 美国联邦能源监管委员会
FUNAI 巴西全国土著居民基金会
International Space University
法国国际航天大学
Max Planck Institute for Quantum Optics
马普量子光学研究所
National Cancer Institute 美国国家癌症研究所
National Institute on Drug Abuse
美国国家滥用药物协会
Naval Research Laboratory
美国海军研究实验室
NERC 北美电力可靠性协会
Rensselaer Polytechnic Institute
伦斯勒理工学院
U.C.L.A 美国加利福尼亚大学洛杉矶分校
UCTE 欧洲输电协作联盟

项目、协议、书刊

Mistakes Were Made (But Not by Me)
《不是我的错》
Mould Manifesto 模式宣言
sunk-cost fallacy 沉没成本谬误
The Architecture of Happiness 《幸福的建筑》
the Innocence Project 昭雪计划

FUJITSU

富士通 网络世界创意无限

以逸为形 双核而质 —富士通引领新双核时代



富士通推荐使用 Windows® XP Professional。



全面数据保密。配置指纹识别系统、LifeBook锁、BIOS密码锁、双硬盘密码锁，数据置于固若金汤的保护之下。



人性设计，独一无二的液晶状态栏，让用户对笔记本使用的状态信息一目了然。



广泛扩展功能。独立显卡带来出色3D性能。内置高效Wi-Fi无线连接。



13" 轻薄商务先锋—LifeBook S6311

14" 全能睿智商务—LifeBook S7111

15" 至尊商务典范—LifeBook E8210

采用英特尔® 迅驰™ 双核移动计算技术

LIFEBOOK | 自信·无限 免费咨询热线：800 820 8387 欢迎访问：cn.fujitsu.com/pc

Celeron, Celeron Inside, Centrino, Centrino Logo, Core Inside, Intel, Intel Logo, Intel Core, Intel Inside, Intel Inside Logo, Intel Viiv, Intel vPro, Itanium, Itanium Inside, Pentium Inside, Xeon 和 Xeon Inside 均是英特尔或英特尔所属公司在美国或其他国家的商标/注册商标。

Microsoft 和 Windows 是微软公司在美国和/或其它国家分支机构的商标或注册商标。其它商标或注册商标属于他们各自的拥有者。





for a living planet®



全球气候变暖，将因您的参与而改变

依照目前趋势，到2100年，北极冰川将在夏季全部融化，数十亿人的家园也将被淹没。在中国，WWF(世界自然基金会)正与各级政府、企业、社团广泛合作，为减少二氧化碳排放、推广可再生能源和能源节约、推动可持续能源发展而积极努力。

成为我们的合作伙伴，共同遏止全球气候变暖，请访问：www.wwfchina.org Tel: 8610-65227100